



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

Evaluación del Sistema de Riego por fajas en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.), Variedad Sebaqueña, en la Finca “Guayacán” en el municipio La Trinidad, en el departamento de Carazo.

Presentado por:

Br. Kenia Xiomara Cañadas Vásquez

Br. Juan Carlos Escobar Almendárez

Tutor:

Ing. Raquel Dolores Izabá Ruiz

Managua, Mayo 2012

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	9
II.	ANTECEDENTES.....	11
III.	JUSTIFICACION.....	13
IV.	OBJETIVOS.....	14
4.1	<i>Objetivo general.....</i>	<i>14</i>
4.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>14</i>
V.	MARCO TEÓRICO.....	15
5.1	<i>Generalidades.....</i>	<i>15</i>
5.1.1	<i>Definición de riego.....</i>	<i>15</i>
5.1.2	<i>Relación agua-suelo-planta.....</i>	<i>15</i>
5.1.3	<i>Textura.....</i>	<i>16</i>
5.1.4	<i>Estructura.....</i>	<i>16</i>
5.1.5	<i>Porosidad.....</i>	<i>17</i>
5.1.6	<i>Densidad aparente.....</i>	<i>18</i>
5.1.7	<i>Densidad real.....</i>	<i>18</i>
5.1.8	<i>Capacidad de campo (cc).....</i>	<i>18</i>
a)	<i>Método gravimétrico.....</i>	<i>19</i>
b)	<i>Método de texturas.....</i>	<i>20</i>
c)	<i>Método de la olla de presión.....</i>	<i>20</i>
5.1.9	<i>Punto de marchitez permanente.....</i>	<i>21</i>
5.2	<i>Clasificación del agua en el suelo.....</i>	<i>21</i>
5.2.1	<i>Agua de retención.....</i>	<i>21</i>
5.2.2	<i>Agua capilar.....</i>	<i>22</i>
5.2.3	<i>Agua gravitacional.....</i>	<i>22</i>
5.3	<i>Régimen hídrico del suelo.....</i>	<i>23</i>
5.3.1	<i>Precipitación.....</i>	<i>23</i>

5.3.2	<i>Infiltración y velocidad de infiltración.....</i>	24
5.3.3	<i>Evaporación.....</i>	25
5.3.4	<i>Transpiración.....</i>	25
5.3.5	<i>Humedad relativa.....</i>	25
5.3.6	<i>Profundidad del suelo explorada por las raíces.....</i>	26
5.4	<i>Sistemas de riego.....</i>	27
5.4.1	<i>Sistema de riego por gravedad.....</i>	27
5.4.1.1	<i>Sistema de riego por gravedad en fajas.....</i>	27
5.4.1.2	<i>Descripción del riego por gravedad en fajas.....</i>	28
5.4.1.3	<i>Características.....</i>	28
5.4.1.4	<i>Tamaños de las fajas.....</i>	29
5.4.1.5	<i>Caudales de agua aplicados a las fajas.....</i>	30
5.4.1.6	<i>Ventajas.....</i>	30
5.4.1.7	<i>Desventajas.....</i>	30
5.4.2	<i>Evaluación sistema de riego por fajas.....</i>	31
5.4.2.1	<i>Tiempo de Riego (T_i).....</i>	31
5.4.2.2	<i>Tiempo de aplicación (T_a).....</i>	31
5.4.2.3	<i>Tiempo de oportunidad (T_o).....</i>	31
5.4.2.4	<i>Tiempo de avance (T_{av}).....</i>	31
5.4.2.5	<i>Tiempo de retirada (T_r).....</i>	31
5.4.2.6	<i>Caudal aplicado.....</i>	32
5.4.2.7	<i>Eficiencias.....</i>	32
	<i>a. Eficiencia de distribución (E_d).....</i>	32
	<i>b. Eficiencia de riego del sistema(E_i).....</i>	32
	<i>c. Eficiencia de aplicación (E_a).....</i>	33
5.4.3	<i>Diseño de Sistema de riego adecuado a las condiciones de la parcela.....</i>	33
5.4.3.1	<i>Diseño sistema de riego por goteo.....</i>	33
5.4.3.2	<i>Diseño agronómico.....</i>	34
	<i>a. Dimensionamiento de la parcela.....</i>	34
	<i>b. Evapotranspiración.....</i>	34

c. Evapotranspiración de cultivo (ET cultivo) o uso	
Consuntivo.....	35
d. Evapotranspiración de la zona de referencia (ETo)	
por el método de Penman-Monteith.....	36
e. Coeficiente del cultivo (kc).....	38
f. Necesidades de agua de la planta.....	38
5.4.3.3 Diseño hidráulico.....	43
a) Tubería lateral.....	43
b) Diseño de Tubería Secundaria.....	43
b.1) Diámetro de la tubería secundaria.....	44
c) Diseño Tubería Principal.....	44
d) Requerimiento de trabajo de la bomba.....	45
e) Altura manométrica tota.....	45
f) Potencia de la bomba.....	45
5.5 Cultivo de la cebolla.....	45
5.5.1 Origen.....	45
5.5.2 Morfología Y Taxonomía.....	46
5.5.3 Temperatura.....	46
5.5.4 Humedad.....	47
5.5.5 Fisiología.....	47
5.5.6 Nutrición.....	47
5.5.7 Variedades.....	48
5.5.8 Fechas de siembra.....	48
5.5.9 Establecimiento y manejo del semillero.....	49
5.5.10 Trasplante.....	49
5.5.11 Riego en la cebolla.....	49
5.5.12 Control de malezas.....	50
VI. DISEÑO METODOLÓGICO.....	51
6.1 Localización del área de estudio.....	51

6.2	<i>Condiciones climáticas.....</i>	51
6.3	<i>Métodos.....</i>	51
6.3.1	<i>Determinar las características hidrofísicas del suelo, las propiedades de riego del agua de la fuente de la zona y la curva de velocidad de infiltración por el método de los anillos infiltrómetros.....</i>	51
6.3.1.1	<i>Características Hidrofísicas.....</i>	51
6.3.1.2	<i>Características del agua de riego.....</i>	53
6.3.1.3	<i>Velocidad de infiltración en el suelo.....</i>	53
6.3.2	<i>Conocer el caudal de riego disponible y el caudal de las fajas a través de métodos de medición de caudales.....</i>	56
6.3.2.1	<i>Aforo de la bomba usando el método volumétrico.....</i>	56
6.3.2.2	<i>Aforo de la bomba usando el método de la escuadra.....</i>	57
6.3.2.3	<i>Aforo del caudal en la cabecera de la faja usando el método del vertedero rectangular.....</i>	58
6.3.3	<i>Determinar los parámetros del sistema de riego para comprobación de las eficiencias de aplicación, eficiencia de distribución y eficiencia de riego.....</i>	58
6.3.3.1	<i>Determinación de la profundidad explorada por las raíces.....</i>	58
6.3.3.2	<i>Determinación de los tiempos de aplicación, tiempo de oportunidad de infiltración y tiempo de avance y sus curvas respectivas.....</i>	59
a.	<i>Curva de agua infiltrada.....</i>	61
b.	<i>Curvas de avance y retirada.....</i>	61
c.	<i>Determinación del descenso de humedad.....</i>	61
d.	<i>Lámina de agua infiltrada “Típica”.....</i>	62
e.	<i>Profundidad media real de agua aplicada(mm).....</i>	62
f.	<i>Lámina de agua infiltrada “Ajustada”.....</i>	63
6.3.3.3.	<i>Determinación de la eficiencia de aplicación, eficiencia de riego y</i>	

<i>eficiencia de distribución</i>	63
<i>a. Eficiencia de distribución (Ed)</i>	63
<i>b. Eficiencia de riego del sistema (Ei)</i>	64
<i>c. Eficiencia de aplicación (Ea)</i>	64
6.3.3.4 <i>Equipos y materiales utilizados en las prueba de campo</i>	64
<i>a. Prueba de muestreo de suelo</i>	64
<i>b. Prueba de Infiltración</i>	65
<i>c. Aforo de bomba</i>	65
<i>d. Aforo de la cabecera de la faja</i>	65
<i>e. Determinación de la curva de avance</i> <i>y curva de retirada</i>	65
6.3.4 <i>Diseñar sistema de riego adecuado a las condiciones</i> <i>de la parcela a partir de los resultados de la evaluación</i>	66
6.3.4.1 <i>Diseño agronómico</i>	66
<i>a) Dimensionamiento de la parcela</i>	66
<i>b) Cálculo de la Evapotranspiración (ETO)</i>	66
<i>c) Cálculo de la evapotranspiración (ETcultivo)</i>	67
<i>d) Factor de cultivo Kc</i>	67
<i>e) Factor de sombreado (Ks)</i>	67
<i>f) Factor de aumento por valores medios (Ka)</i>	67
<i>g) Factor de uniformidad (Ku)</i>	67
<i>h) Necesidades de lavado por aguas salinas (KI)</i>	68
<i>i) Cálculo de la necesidad diaria de agua de la planta</i>	68
<i>j) Características Hidráulica del gotero</i>	68
<i>k) Cálculo del número de gotero por planta</i>	69
<i>l) Cálculo del número de sectores (N sectores)</i>	70
<i>m) Cálculo Caudal de bombeo</i>	71
6.3.4.2 <i>Diseño hidráulico</i>	72
<i>a) Cálculo de la tubería lateral</i>	72

a.1) Número de emisores por lateral.....	72
a.2) Caudal en el origen de un ramal lateral.....	72
a.3) Longitud ficticia del lateral.....	72
a.4) Cálculo de las pérdidas de carga admisible en el lateral...	73
a.5) Cálculo del diámetro del lateral.....	73
a.6) Pérdida de carga real del lateral.....	75
a.7) Presión necesaria en el origen del lateral.....	75
b) Diseño de Tubería Secundaria.....	76
b.1)Caudal en el origen de la tubería secundaria.....	76
b.2)Longitud ficticia de la secundaria.....	76
b.3)Pérdida de carga admisible en la secundaria.....	76
b.4)Diámetro de la tubería secundaria.....	77
b.5)Pérdida de carga producida en la secundaria.....	78
b.6)Presión en el origen de la secundaria.....	78
c) Diseño de la tubería principal.....	79
c.1) Caudal y Diámetro de la tubería principal.....	79
c.2) Longitud ficticia de la principal.....	79
c.3) Pérdida de carga en la tubería principal, según Blasius.....	80
c.4) Presión en el origen de la tubería principal.....	80
d) Requerimiento de trabajo de la bomba.....	80
e) Cálculo de la altura manométrica total.....	80
f) Potencia de la bomba.....	81

VII. ANALISIS DE RESULTADOS.....82

7.1	Características hidrofísicas del suelo.....	82
7.2	Análisis de agua para riego.....	84
7.3	Velocidad de infiltración del suelo.....	84
7.4	Caudales de riego disponible y caudal de la faja.....	86

a)	<i>Caudal de la bomba usando el método volumétrico.....</i>	<i>86</i>
b)	<i>Caudal de la bomba usando el método de la escuadra.....</i>	<i>87</i>
7.5	<i>Cálculo del caudal en la cabecera de la faja usando el método del vertedero rectangular.....</i>	<i>87</i>
7.6	<i>Tiempos de aplicación, tiempo de oportunidad de infiltración, tiempo de avance y tiempo de retirada.....</i>	<i>87</i>
7.7	<i>Curvas de avance y retirada.....</i>	<i>89</i>
7.8	<i>Lámina media infiltrada (según la curva típica).....</i>	<i>90</i>
7.9	<i>Lámina media real de agua aplicada en mm.....</i>	<i>91</i>
7.10	<i>Lámina media infiltrada (Según la curva ajustada).....</i>	<i>91</i>
7.11	<i>Determinación de la eficiencia de aplicación, eficiencia de riego y eficiencia de distribución.....</i>	<i>93</i>
7.11.1	<i>Eficiencia de distribución(E_d).....</i>	<i>93</i>
7.11.2	<i>Eficiencia del sistema (E_i).....</i>	<i>93</i>
7.11.3	<i>Eficiencia de Aplicación (E_a).....</i>	<i>94</i>

VIII. PROPUESTA DE DISEÑO ADECUADO A LAS CONDICIONES

	DE LA PARCELA: AGRONÓMICO E HIDRÁULICO.....	96
8.1	<i>DISEÑO AGRONÓMICO.....</i>	<i>96</i>
8.2	<i>DISEÑO HIDRÁULICO.....</i>	<i>98</i>
8.2.1	<i>Diseño de la tubería lateral.....</i>	<i>98</i>
8.2.2	<i>Diseño de la tubería Secundaria.....</i>	<i>98</i>
8.2.3	<i>Diseño de la tubería Principal.....</i>	<i>99</i>
8.2.3.1	<i>Cálculo del caudal de la válvula del sector.....</i>	<i>99</i>
8.2.3.2	<i>Longitud de los tramos.....</i>	<i>100</i>
8.2.3.3	<i>Caudal en la tubería Principal.....</i>	<i>100</i>
8.2.3.4	<i>Pérdida de carga en la tubería principal.....</i>	<i>101</i>
8.2.3.5	<i>Presión necesaria en el origen de la tubería principal.....</i>	<i>101</i>
8.2.3.6	<i>Pérdida de carga en el punto más defavorable del sistema... </i>	<i>102</i>

8.2.4 Requerimiento de trabajo altura manométrica total y potencia de la Bomba.....	102
IX. CONCLUSIONES.....	104
X. RECOMENDACIONES.....	106
XI. BIBLIOGRAFIA.....	107
XII. ANEXO.....	110
ANEXO 1. UBICACIÓN DE LA PARCELA DE DESTINO	
ANEXO 2. DATOS METEOROLÓGICOS	
ANEXO 3. ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA	
ANEXO 4. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	
ANEXO 5. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	
ANEXO 6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO EN FAJAS	
ANEXO 7. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL GOTERO	
ANEXO 8. DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEÓ	
ANEXO 9. PLANO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	
ANEXO 10. PRESUPUESTO DEL DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEÓ	
ANEXO 11. HOJAS DE CAMPO	
ANEXO 12. GALERÍA DE FOTOS	

I. INTRODUCCIÓN

El uso del agua para irrigación en nuestro país está concentrado en el Pacífico, donde se utiliza en algunos cultivos, consumiendo aproximadamente el 30% del potencial de agua subterránea y el 15% del agua superficial. Se estima que hay 75,000 hectáreas irrigadas. ⁽¹⁾. Lamentablemente somos el país que más suelos riega, pero el que más agua desperdicia en América Central, ya que a pesar de tener riegos modernos, no los manejamos debidamente, siendo pocos los productores que saben aprovechar el tipo de riego y el agua. ⁽²⁾

Para saber aprovechar el agua correctamente es necesario elegir un diseño de riego adecuado y que pueda satisfacer las necesidades del cultivo a regar. Algunos factores para elegir el sistema de riego son: la geometría, topografía del terreno, disponibilidad del agua, características del suelo, entre otros.

Uno de los sistemas de riego más económico para superficies con poca pendiente y que puede ajustarse a la bolsa de cualquier productor Nicaragüense es el sistema de riego por superficie o conocido como riego por gravedad ⁽²⁾

Los métodos de riego por superficie o gravedad, se pueden agrupar en dos tipos: los de inundación y los de surcos. Riego por surcos (en que el agua se mueve sobre el terreno en surcos y riego por inundación (Acá las superficies que se van a regar se limitan con bordes cuya separación depende principalmente de la pendiente transversal al sentido del riego) ⁽¹³⁾; Sin embargo, como cualquier sistema de riego debe ser evaluado y a su vez conocer las condiciones necesarias para hacer un diseño correcto del mismo.

Por lo antes expuesto se decidió realizar una evaluación del sistema de riego por fajas que se implementa en la finca Guayacán, en el municipio de La Trinidad departamento de Carazo en el cultivo de cebolla Sebaqueña, considerando todos los parámetros a evaluar antes mencionados.

Esta variedad de cebolla es seleccionada para la evaluación del método de riego por fajas, por sus buenas características generales (adaptación, producción, bajo costo de semilla, tolerancia a enfermedades) se puede sembrar todo el año, y es la única variedad de cebolla capaz de producir semilla en nuestras condiciones ambientales.

II.ANTECEDENTES

La cebolla (*Allium cepa* L) es uno de los cultivos más antiguos y de mayor importancia comercial a nivel mundial, las estimaciones más recientes indican que el área de cebollas en el mundo es actualmente de 1.8 millones de hectáreas, produciendo en total 25 millones de toneladas métricas aproximadamente. ⁽³⁾

En Nicaragua, según informes del INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria) indican que se cultivan alrededor de 1300 hectáreas, en manos de pequeños y medianos productores, destinadas principalmente al consumo interno, utilizada en condimentos y uso medicinal debido a su contenido de calcio, ácido ascórbico y vitamina A.⁽³⁾ El valle de Sébaco y Jinotega en las comunidades de Namanjí, Colon y Sacacli, son las principales zonas que se dedican a la producción de cebolla, tanto para el mercado nacional como internacional, donde se concentra respectivamente el 61.98 % y 25.30 % del área nacional cultivada. ⁽⁴⁾

Durante el 2006 la superficie cultivada de cebolla en Sébaco, fue de 3,000 hectáreas con una producción nacional de 6,500 TM y un rendimiento de 2.17 ton/ha. ⁽⁴⁾ Actualmente la producción de cebolla ha venido variando debido al cambio climático. Hasta la fecha el sistema de riego empleado en la producción de cebolla en Sébaco es por inundación en fajas, por esa razón se evitó sembrar cantidades significativas de cebolla en el pasado año 2011, debido a las constantes lluvias del año anterior 2010; esto impidió suficiente producción de cebolla blanca sebaqueña para la extracción de semilla, creyendo que los precios de este producto en la época de cosecha en Abril-Mayo se verán alterados. ⁽⁶⁾

Para la realización de este estudio, visitamos el centro experimental del valle de Sébaco (CEVAS) INTA, en Matagalpa, y en Managua, con el fin de encontrar información que pudiera reflejar una situación mucho más actual del país en cuanto al riego por gravedad en la cebolla. Sin embargo, no se encontraron registros recientes, de las eficiencias de éste sistema de riego en fajas, ni de los rendimientos productivos en la cebolla debido a la falta de evaluaciones periódicas y registros del mismo.

III.JUSTIFICACION

Los pequeños productores a lo largo del tiempo han sido apoyados por las diversas instituciones y organismos con entrega de equipos de sistemas de riego, con los que se pretende mejorar los rendimientos productivos de sus cultivos, sin embargo, este apoyo, se ve afectado porque dichos facilitadores se limitan a brindarle al productor los conocimientos básicos de instalación y funcionamiento de los equipos, pero no a dar un seguimiento evaluativo de los rendimientos del sistema instalado, así como también, la resolución de problemas que pueden presentarse por un mal manejo del equipo.

Ante esta serie de situaciones adversas, muchos de estos productores optan por abandonar el equipo y adoptar diversas técnicas artesanales, usando su propio criterio personal, lo que no permiten alcanzar la optimización de los recursos que poseen, dando como resultado: bajos rendimientos productivos, desaprovechamiento de los recursos naturales, gasto en combustible y/o energía, erosión, ineficiente mano de obra, todos ellos resumidos en pérdidas económicas.

Por lo antes expuesto, en coordinación con un pequeño productor del municipio de La trinidad Carazo, se realizó la evaluación de su sistema de riego superficial aplicado al cultivo de la cebolla. Para determinar la eficiencia de su sistema, y así mostrarle al productor; las condiciones de su sistema, opciones para mejorar la operatividad del sistema, o de ser necesario proponer un nuevo sistema de riego a fin de lograr mejores eficiencias y por ende, un mejor rendimiento en el cultivo de la cebolla, convirtiéndola en un producto rentable de la zona.

IV.OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de riego por fajas en el cultivo de la Cebolla (*Allium cepa* L.), Variedad Sebaqueña, en la Finca “Guayacán” en el municipio La Trinidad, en el departamento de Carazo.

4.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características hidrofísicas del suelo, las propiedades de riego del agua de la fuente de la zona y la curva de velocidad de infiltración por el método de los anillos infiltrómetros.
2. Conocer el caudal de riego disponible y el caudal de las fajas a través de métodos de medición de caudales.
3. Determinar los parámetros del sistema de riego para comprobación de las eficiencias de aplicación, eficiencia de distribución y eficiencia de riego.
4. Diseñar un sistema de riego adecuado a las condiciones de la parcela a partir de los resultados de la evaluación.

V.MARCO TEÓRICO

5.1 Generalidades

5.1.1 Definición de riego

Riego es la aplicación artificial del agua al suelo, cuando su contenido es insuficiente, con el fin de suministrar a la planta la humedad requerida para el desarrollo óptimo de los cultivos para la obtención de altos rendimientos por unidad de área.⁽⁷⁾

Cuando los ingresos de agua al suelo por precipitación, son menores que los egresos causados por la evapotranspiración, es necesario irrigar las cosechas para así evitar el estrés hídrico que podría ocasionarse en las diferentes fases fenológicas del cultivo, por falta de humedad en el suelo.⁽⁷⁾

5.1.2 Relación agua-suelo-planta

Esta es la relación que existe entre el agua-suelo-planta. Las porciones en que se encuentra la humedad en el terreno influye excesivamente en el desarrollo de las plantas ya que si el elemento agua es deficiente las plantas difícilmente producirán buenas cosechas.⁽⁸⁾

Las plantas absorben en agua por sus raíces, por lo que es necesario un buen desarrollo radicular en condiciones apropiadas o adecuadas del suelo.⁽⁸⁾

Del agua que cae en el suelo una cierta cantidad de ella queda retenida en los poros del mismo, la otra cantidad queda a la disposición de las plantas. Se debe tener cuidado de suministrarle al suelo la cantidad de agua que necesita la planta para que no agote la porción⁽⁸⁾

5.1.3 Textura

Es la disposición y dimensión de las partículas minerales que constituyen la roca en sí, con independencia de su composición química. Es una propiedad muy estable y de gran importancia para el movimiento, almacenamiento y aireación del suelo ⁽⁸⁾.

En términos generales existen tres tipos de suelos (textura) según la Clasificación taxonómica del Departamento de agricultura de los EE.UU. los cuales de acuerdo a la proporción que contengan de arena, arcilla y limo pueden ser arenosos, francos o arcillosos.⁽⁸⁾

5.1.4 Estructura

La estructura de un suelo es la propiedad física del mismo que determina la forma cómo se unen y ordenan las partículas de éste. ⁽⁸⁾

El ambiente de las plantas se ve afectado por la estructura, porque el sistema poroso influye en la capacidad de retención del agua, la ventilación y el drenaje.

⁽⁸⁾

Se necesitan poros grandes para la ventilación y la fácil admisión del agua, poros de tamaño medianos para el desplazamiento del agua en el suelo y poros pequeños para el almacenamiento de la humedad. ⁽⁸⁾

La estructura del suelo se mantiene y mejora mediante prácticas sanas de cultivo y riego, y puede destruirse con rapidez, mediante un manejo poco adecuado. ⁽⁸⁾

La estructura puede también clasificarse, en tres grupos principales que comprenden las características prácticas más importantes. Estos grupos son: Granular, continua o masiva y Fragmentaria. ⁽⁸⁾

Las características estructurales del suelo tienen relación con el posible desarrollo radicular. Estas características determinan la variación de otras, por lo que existe gran relación entre ellas y la actividad del riego, Así por ejemplo la textura y la estructura del suelo determinan la porosidad; esta en conjunto con otros factores determinan la capacidad de retención de agua de los suelos y esta ultima a su vez los volúmenes de agua a aplicar en un riego. Por estas razones en condiciones empresariales deben estudiarse todas las características en conjunto y analizar la forma en que interactúan para toma de decisiones en los controles y aplicaciones de humedad. ⁽⁸⁾

5.1.5 Porosidad

La porosidad es una de las propiedades físicas más importantes del suelo, ya que la presencia de poros permite la presencia del agua y el aire. ⁽⁸⁾

Esta se define como la relación entre el volumen de todos los poros y huecos del suelo con el volumen del suelo en su estructura natural. ⁽⁸⁾

Para fines de riego y en atención al movimiento del agua y del aire en el suelo, es más determinante el tamaño de los poros que la misma porosidad total. Esta razón hace que los suelos arcillosos, aparentemente húmedos por su gran contenido de microporos, no dispongan de humedad aprovechable, dada a la alta tensión a la cual el agua está retenida y a pesar de ofrecer una gran capacidad de retención.

Por el contrario en los suelos arenosos, una gran porción de espacios porosos está contenida en macroporos, que si bien facilita el movimiento del agua y del aire a través del suelo, limitan el poder de retención de humedad ya que esta se infiltra de manera muy rápida. ⁽⁸⁾

5.1.6 Densidad aparente

Es la relación existente entre el peso de una porción de suelo seco y su volumen incluyendo el ocupado por los poros. A como también se puede considerar, que la densidad de los sólidos (densidad de las partículas) es la relación de su masa y su volumen. ⁽⁸⁾

La **Da** es afectada por la estructura del suelo, es decir por su grado de compactación, así como por sus características de expansión y contracción y que dependen a su vez del contenido de agua. ⁽⁸⁾

5.1.7 Densidad real

Es la relación entre el peso de la parte sólida del suelo y el volumen que ésta ocupa. ⁽⁸⁾

5.1.8 Capacidad de campo (cc)

Es el agua que ingresa en el perfil de un suelo, éste lo retiene o contiene después de haber cesado el drenaje en el mismo y la redistribución se hace lenta, pudiendo disponer la planta de esa agua. Es necesario reponer el agua cada vez que las plantas extraigan el agua del suelo, sin excederse en la irrigación para que el agua esté al alcance de las raíces y no haya arrastres de nutrientes a horizontes profundos. Después de la saturación se alcanza la C.C. esta situación se asocia a una tensión de humedad en el suelo de 0.3 bares. Desde el punto biológico es óptima, ya que es el nivel de máxima disponibilidad de agua para las plantas, con aire presente y depende de las características físicas de los suelos, principalmente textura, estructura y porosidad. ⁽⁸⁾

Existen varios métodos para determinar la capacidad de campo; método gravimétrico o de campo, método de texturas y método de la olla de presión. ⁽⁸⁾

a) Método gravimétrico

Este método se realiza “in situ”, es sencillo y de fácil determinación. Este consiste en preparar cuadros de terreno de 1 x 1 m cada uno, bordeado con camellón de unos 30 cm. de altura, se humedece el perfil mediante la aplicación de una lámina de agua de 20 a 30 cm. (8)

Considerando que el agua también tiene movimiento horizontal lo que puede producir errores en la determinación se debe mojar la periferia del metro. (8)

$$\%W = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} * 100 = \frac{P_w}{P_{ss}} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

%W: Contenido de humedad, %.

P_{ss}: peso del suelo seco, gr.

P_{sh}: peso del suelo húmedo, gr.

P_a: peso del agua contenida en la muestra, gr.

Esta metodología de campo, presenta la oportunidad de valorizar la capacidad de campo, en condiciones reales y es una buena referencia del estado de humedad que debe tener el suelo una vez que se ha desprendido del agua gravitacional. (8)

Por último resulta de suma importancia, remitir las muestras de suelo a laboratorios especializados y comparar los resultados de estos con los obtenidos con la metodología de campo. (8)

b) Método de texturas

Conociendo la textura del suelo se pueden determinar la CC. Este método ya no se utiliza para fines de investigación, pero puede utilizarse con fines de planificación de grandes áreas, para hacer estimaciones generales. ⁽⁸⁾

Este método, con experiencia por parte del evaluador, resulta importante para tomas de decisiones en el campo. Se debe partir de entrenamiento previo dactilar, que permita en el campo, decepcionará la muestra, hacer valoración en función de la humedad e identificar el tipo de suelo y con la clase textural valorar el contenido de humedad a CC, según tablas que se han evaluado por investigadores. ⁽⁸⁾

c) Método de la olla de presión

Es el método más desarrollado, pues permite hacer la determinación del valor CC de un gran número de muestras en corto tiempo. Consiste en aplicar aire a presión de 1/3 de atmósfera a muestras de suelos previamente saturados. ⁽⁸⁾

El equipo que se utiliza es: olla de presión y platos de cerámica, anillos de hule de 1 cm de alto y 6 cm de diámetro para contener muestras de 25 gramos. ⁽⁸⁾

Nuestro país cuenta con laboratorios especializados y personal altamente capacitado en las universidades que ofrecen el servicio a los agricultores, empresas, etc. los cuales tienen como política el orientar a los productores de cómo efectuar la toma de las muestras de suelo en el campo para su posterior remisión a los laboratorios. ⁽⁸⁾

5.1.9 Punto de marchitez permanente

Considerado como el contenido de agua que tiene un suelo, bajo el cual las plantas no son capaces de absorberla por las raíces para cumplir con las exigencias impuestas por la transpiración. ⁽⁸⁾

El punto de marchitez permanente depende del consumo de agua de la planta, profundidad de la zona radicular, del agua utilizada por la planta y de la capacidad de retención del suelo. Cuando aumenta la temperatura y la velocidad del consumo de humedad, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor. ⁽⁸⁾

5.2 Clasificación del agua en el suelo

El material de un suelo puede retener distintas cantidades de agua, que pueden agruparse en tres grandes categorías. ⁽⁸⁾

5.2.1 Agua de retención

Las moléculas de agua tienen un carácter polar como pequeños imanes, son atraídas y fijadas por las irregularidades electrónicas de la superficie de los cristales de los cuales también tienen un carácter bipolar.

De esta forma las partículas absorben parte del agua del suelo, el agua fijada así se llama agua de retención. ⁽⁸⁾

A medida que el agua capilar va siendo aprovechada por la planta, la humedad va siendo menor, van quedando poros vacíos a tal punto que la escasa humedad está fuertemente retenida en las partículas del suelo, lo que llamamos agua de retención, y donde definitivamente el agua no podrá ser aprovechada por la planta, y como resultado de esto la planta comienza a marchitarse y estas mueren. ⁽⁸⁾

El agua de retención está representada por dos tipos de agua; el agua higroscópica y agua pelicular. ⁽⁸⁾

5.2.2 Agua capilar

Es retenida por fuerzas de capilaridad. Puede elevarse por encima del agua subterránea almacenada y llegar a cierta altura que permite el equilibrio entre la componente vertical de la tensión superficial y el peso de la columna de agua. Transmite la presión hidrostática y la acción de la gravedad. ⁽⁸⁾

Cuando sucede ese punto crítico entre la fuerza cohesiva y la gravitacional es cuando se dice que el suelo esta a CC, todos los poros están llenos de agua y con un poco más de agua se rompe el equilibrio y hay percolación. Cuando ha drenado todo el agua gravitacional se dice que el suelo esta a CC. ⁽⁸⁾

El agua que queda entre los intersticios se llama agua capilar la cual es retenida por las fuerzas de adhesión y cohesión, esta es el agua retenida y aprovechada por la planta. ⁽⁸⁾

5.2.3 Agua gravitacional

Se llama agua libre o de percolación, obedece a la gravedad y puede ser extraída. Puede circular en los acuíferos debido a diferencias de presión. Es la parte activa de las aguas subterráneas. Ocupa el espacio entre las partículas. ⁽⁸⁾

Cuando se aplica agua al suelo ya sea por lluvia o por riego, las partículas de suelo se cubren por partículas de agua la cual es retenida por una fuerza adhesiva.

Al aumentar el agua entran en juego las fuerzas cohesivas, al aumentar el agua la partícula aumenta y la fuerza cohesiva rompe su equilibrio y las moléculas de agua por efecto de la gravedad se percola. La fuerza de gravedad aprovecha y hala el agua a capas inferiores. ⁽⁸⁾

5.3 Régimen hídrico del suelo

El régimen hídrico del suelo es una característica generalizada del conjunto de fenómenos de ingreso de humedad en el suelo, de su movimiento, del cambio en su estado físico y su gasto. ⁽⁸⁾

Entre los elementos del régimen hídrico están: precipitación, infiltración de la humedad en el suelo, transpiración, evaporación, la humedad presente en el sistema radicular de las plantas, la filtración de humedad hacia las capas que yacen profundamente, la absorción capilar, el escurrimiento, la absorción de la humedad por parte de la fase sólida, etc. Desde el punto de vista cuantitativo, el régimen hídrico se representa por la ecuación del balance y la ecuación del movimiento de la humedad en el suelo. ⁽⁸⁾

5.3.1 Precipitación

Es quizás el elemento climatológico con mayor importancia en su red de observación. Debido a que no es una variable termodinámica, sus valores no se reducen al nivel del mar. Sin embargo, la cantidad de precipitación esta notablemente influenciada por la topografía, así sus variaciones en distancias muy pequeñas pueden ser enormes por lo que se recomienda siempre llevar un registro en el área del cultivo. ⁽⁸⁾

La precipitación es el elemento más importante para la agricultura de secano debido a que es la única fuente que provee a los suelos de humedad en condiciones naturales.

En Nicaragua las precipitaciones predominantes se dan en la región del pacífico y central, donde se localiza más del 70% de la producción nacional, las que van desde 600mm en la región del pacífico y 2000mm en la región central. ⁽⁸⁾

5.3.2 Infiltración y velocidad de infiltración

Es el proceso de penetración del agua al suelo en un tiempo determinado la cual satura de agua las capas superiores mientras penetra el agua a las capas más profundas llenando los poros del suelo. ⁽⁹⁾

La velocidad de infiltración se refiere a la relación entre una lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo y se expresa en centímetros por hora (cm. /h) o milímetros por horas (mm/h). El agua se acumula en los poros del suelo y así pasa a ser utilizadas por las plantas, es afectada por la evaporación o es desplazada a otros lugares por efecto del drenaje o percolación.

Este movimiento está condicionado a la textura, humedad y estructura de los suelos, por lo que se presenta amplias variaciones en el espacio y en el tiempo. ⁽⁹⁾

La infiltración en el suelo se puede expresar de diferentes formas:

- ✓ **velocidad de infiltración:** Es la velocidad con que el suelo absorbe el agua en un momento determinado; disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante.

- ✓ **Infiltración acumulada:** es la lámina que se acumula en el suelo durante un tiempo; aumenta con el tiempo.
- ✓ **Infiltración media:** es la velocidad de infiltración durante un tiempo acumulado, disminuye con el tiempo.
- ✓ **Infiltración básica:** es la velocidad de infiltración cuando alcanza un valor constante.⁽⁹⁾

5.3.3 Evaporación

Es el fenómeno donde el agua en el suelo pasa de su estado líquido a gaseoso, debido a las condiciones que proporcione el clima en ese momento.⁽¹⁰⁾

5.3.4 Transpiración

Es el desprendimiento de agua en las hojas de las plantas en forma de vapor.⁽¹⁰⁾

5.3.5 Humedad relativa

Guarda una estrecha relación con la marcha anual de la precipitación, es decir, que los valores máximos de la humedad relativa corresponden a los meses de mayor precipitación, en cambio los más bajos ocurren durante la estación seca. Este elemento meteorológico juega un papel muy importante en cuanto a la mayor incidencia de enfermedades fungosas en las plantas en Nicaragua la humedad relativa oscila entre 70% y 85 % para la regiones del pacífico y central.⁽⁹⁾

5.3.6 Profundidad del suelo explorada por las raíces

La raíz es el órgano responsable de la absorción de agua por las plantas y su capacidad, en ese sentido, depende directamente de su grado de desarrollo; es decir, su capacidad de ramificación y de penetración, constituyen las características morfológicas más importantes que permiten al vegetal tolerar los déficits de humedad.

El mayor o menor grado de desarrollo de la raíz condiciona la tasa de absorción de agua por la planta, lo cual a su vez afecta importantes procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración, elongación celular y muchas otras actividades metabólicas. ⁽¹¹⁾

La evaluación de humedad a mayor profundidad persigue mostrar que los tiempos de riego se estén aplicando correctamente en términos de drenaje y que no se esté produciendo anoxia en las raíces por anegamiento del suelo. ⁽¹¹⁾

El conocimiento de la profundidad de las raíces es de particular importancia ya que influye directamente en el cálculo de la lámina de riego, así se tendrá en cuenta la profundidad a humedecer. La profundidad de las raíces depende de una serie de factores tales: textura, cultivo, nivel de humedad en el suelo. ⁽¹¹⁾

En las plantas la distribución de las raíces es aproximadamente de ésta forma: 40% de su densidad radicular sucede en la primera 4 parte de su profundidad total; 30% sucede en la segunda cuarta parte de su profundidad total, 20 % en la tercera cuarta parte y el 10% en la cuarta parte más profunda. ⁽¹¹⁾

5.4 Sistemas de riego

5.4.1 Sistema de riego por gravedad

Conocido como riego superficial, y consiste en la aplicación de agua al suelo por medio de dispositivos o accesorios como sifones (Tubos acodados de polivinil) o por medio de compuertas, que la extraen directamente de un canal regador o parcelario, en un caudal que debe ser menor que la capacidad de infiltración del suelo, pero que no cause erosión y que provoque una buena distribución de la humedad en el suelo. El agua penetra desde la superficie del suelo y se aplica a diferentes intervalos de tiempo en función del agotamiento de humedad disponible que se permita según el cultivo a regar. ⁽¹²⁾

Dentro de esta modalidad de riego se pueden distinguir dos grandes divisiones: cuando el agua se aplica a pequeños cauces o hileras llamados surcos ya sea con desagüe o sin desagüe y la otra cuando se aplica a una gran extensión de terreno en forma de manta o fajas, con desagües y sin desagües (inundación). ⁽¹²⁾

5.4.1.1 Sistema de riego por gravedad en fajas

Se le conoce por varios nombres; Riego en platabanda, en melgas, mantas, y/o fajas.

Este sistema de riego se utiliza en colinas poco pronunciadas o en terrenos con poca pendiente, donde sería muy costoso formar parcelas horizontales. Las fajas siguen la dirección de la pendiente, que para una correcta distribución del agua, debe ser prácticamente uniforme. ⁽¹²⁾

5.4.1.2 Descripción del riego por gravedad en fajas

Estas son fajas de terreno relativamente angostas en formas rectangulares delimitadas por camellones de baja altura, donde el agua se traslada hacia ellas cubriendo toda el área que se quiera regar, con una lámina de agua que oscila entre 5 a 15 cm. ⁽¹²⁾

5.4.1.3 Características

Este método se utiliza en la mayoría de los suelos, pero los mejores resultados se obtienen en los que presentan de media a baja velocidades de infiltración. En suelos de textura arenosa no se aconseja su utilización debido a que pueden ocurrir grandes pérdidas por percolación. ⁽¹²⁾

En suelos que tienen velocidades de infiltración muy bajas, se requieren tiempos de infiltración elevados, esto puede provocar muchos desperdicios de agua en forma superficial. En términos generales se recomienda en suelos con velocidades de infiltración básica menor a 1,6 cm/h y pendientes de alrededor de 0,4%. ⁽¹²⁾

Si la topografía no es lo suficientemente plana, se lleva a cabo trabajos de nivelación, esto implica que el suelo debe ser suficientemente profundo, entonces para que el riego pueda ser efectivo el área longitudinal y transversal deben estar nivelados, forma se evitará la mala distribución del agua y el bajo rendimiento productivo. ⁽¹²⁾

Para tener una buena eficiencia de este riego es importante que: ⁽¹³⁾

✓ Que los caudales de agua sean constantes en un rango comprendido de los 40 a 60 gpm, según el tipo de suelo y las dimensiones de las fajas.

- ✓ La pendiente en el sentido longitudinal tiene que ser lo mínimo de 0.15% y las pendientes transversales entre 0 y 2 %, esto para que el avance del agua y el humedecimiento del perfil sea uniforme.
- ✓ Las dimensiones de la faja se harán conforme al tipo de cultivo.
- ✓ Para evitar pérdidas por escurrimiento se debe cortar el agua de riego a cierta distancia de la cabeza de la faja.

5.4.1.4 Tamaños de las fajas

En el trazo de las fajas deben considerarse las características físicas de los terrenos (textura, velocidad de infiltración, pendiente del terreno, etc.). ⁽¹³⁾

La longitud de las fajas depende en gran parte de la velocidad de infiltración del terreno y de la pendiente de riego. Para poca pendiente y textura pesadas, la longitud de la faja puede ser grande del orden de los 500mt, pero cuando se tiene texturas ligeras y gran pendiente, la longitud debe ser pequeña, por el orden de los 50 mts. ⁽¹³⁾

La anchura de la faja depende en gran parte de la pendiente longitudinal del terreno, así se pretende que al aplicar el agua en la faja su tirante no difiera de más de 5 cm entre ambos bordes, entonces la anchura puede calcularse dividiendo los 5cm entre la pendiente transversal. ⁽¹³⁾

Para pendientes transversales de más de 1%, las fajas se vuelven más angostas y quizás este riego no sea conveniente. ⁽¹³⁾

Es importante determinar el ancho de la faja pensando en el ancho de los equipos (si se fuera a utilizar maquinaria), para cultivar de manera que ambos se ajusten. ⁽¹³⁾

Los bordes se levantan a 25 o 30 cm de altura, con un talud variable pero que en promedio sea de 1:5:1, por lo que su base será de 75 a 90 cm de ancho. ⁽¹³⁾

5.4.1.5 Caudales de agua aplicados a las fajas

El caudal a aplicar a las fajas dependerá de la velocidad de infiltración del terreno y de la pendiente en el sentido de riego. Para texturas ligeras y pendientes pequeñas deben aplicarse caudales grandes, siendo esto lógico ya que de otra forma se tendrá mayor infiltración al principio de la faja y llegaría poco agua al final provocando gran pérdida por percolación en la cabecera de la faja. En terrenos pesados, el caudal a aplicar por metro de ancho debe ser pequeño con el fin de infiltrarse. ⁽¹³⁾

Para lograr una adecuada distribución de agua en el perfil de suelo, el tiempo de recorrido de agua de un extremo a otro de la faja debe ser la cuarta parte del tiempo necesario para infiltrar la lámina deseada. ⁽¹³⁾

5.4.1.6 Ventajas

Si este sistema de riego es ejecutado de manera óptima, considerando cada valor indicador obtenido por las pruebas de campo regulares, y se le da el manejo adecuado puede llegar a ser muy productivo, y las pérdidas disminuirían. ⁽¹³⁾

5.4.1.7 Desventajas

Un mal manejo integrado a este sistema puede traer grandes pérdidas, no solo en los costos del sistema ni en los rendimientos del cultivo, sino también para el empobrecimiento de los suelos, dejándolos improductivos en un futuro. ⁽¹³⁾

5.4.2 Evaluación sistema de riego por fajas

5.4.2.1 Tiempo de Riego (T_i)

Es el necesario para que se infiltre en el terreno la altura de agua que corresponde exactamente al descenso de humedad existente. ⁽¹⁴⁾

5.4.2.2 Tiempo de aplicación (T_a)

Es el tiempo durante el cual es agua está entrando en la unidad de riego. ⁽¹⁴⁾

5.4.2.3 Tiempo de oportunidad (T_o)

Es el tiempo durante el cual es agua permanece, en un determinado punto, sobre la superficie del terreno, (desde que llega a él, hasta que desaparece). ⁽¹⁴⁾

5.4.2.4 Tiempo de avance (T_{av})

Es el que tarda el frente de agua en llegar desde la cabecera de la unidad hasta el extremo inferior de esta. ⁽¹⁴⁾

5.4.2.5 Tiempo de retirada (T_r)

Es el que tarda el agua en desaparecer de la cabecera de la unidad una vez que se cortado la entrada de agua. ⁽¹⁴⁾

5.4.2.6 Caudal aplicado

Es el caudal con el que inicia el riego en los sistemas de fajas y surcos. Es preferible que, siempre que no produzca erosión, sea el máximo posible con objeto de conseguir que el frente de agua llegue rápidamente al final de la unidad de riego. ⁽¹⁴⁾

5.4.2.7 Eficiencias

a. Eficiencia de distribución (E_d)

Es la relación, expresada en porcentaje, entre la lámina mínima de agua infiltrada en el área a evaluar, y la lámina promedio infiltrada a través del área a evaluar. ⁽¹⁴⁾ Esta eficiencia describe la uniformidad de distribución del agua a lo largo de la faja.

En los sistemas de riego por gravedad el valor de E_d aumenta conforme aumenta el tiempo de aplicación (t_a). Es más significativo cuando la lámina mínima infiltrada coincide con el descenso de humedad del terreno; su valor se puede considerar, entonces, como la eficiencia de distribución del sistema. ⁽¹⁴⁾

b. Eficiencia de riego del sistema (E_i)

Es la relación, expresada en porcentaje, entre la lámina mínima de agua infiltrada en el terreno, y la lámina total aplicada en el perfil. Esta relación describe la eficacia máxima con que puede operarse el sistema en las condiciones de la prueba (no variando ningún parámetro, excepto el momento de riego). ⁽¹⁴⁾

c. Eficiencia de aplicación (E_a)

Es la relación, expresada en porcentaje, entre la lámina de agua almacenada en la zona radicular (de donde puede ser tomada por el cultivo) y la lámina total que ha suministrado realmente en el perfil. Este término se puede aplicar a una parcela, a una finca, o a un área determinada y también a un determinado riego o a todos los del año. ⁽¹⁴⁾

Esta relación describe la eficacia con que la planta está aprovechando el agua aplicada. Esto se determina conociendo el descenso de humedad del agua regada dos días después de aplicada.

5.4.3 Diseño de Sistema de riego adecuado a las condiciones de la parcela

5.4.3.1 Diseño sistema de riego por goteo

El riego por goteo o localizado se llama también de alta frecuencia ya que la separación entre riego se hace muy pequeña de (1 a 3 días), siendo lo ideal aplicar el agua necesaria a la planta diariamente manteniendo así un nivel óptimo de humedad. La cantidad de suelo mojado depende de las características del terreno, duración de tiempo de riego y número de goteros empleados.

El diseño de un sistema de riego por goteo conlleva cuatro reglas para realizar un proyecto racional y económico:

1. Riego diario en toda la finca.
2. División de la zona a regar en sectores lo cuales entraran en funcionamiento escalonadamente.

3. Automatización de las instalaciones mediante programadores y válvulas electromagnética.

Pero para esto es necesario elaborar; El diseño agronómico, diseño geométrico y el diseño hidráulico.

5.4.3.2 Diseño agronómico

a. Dimensionamiento de la parcela

Todo diseño agronómico cuenta con la información sobre las dimensiones de la parcela a regar, el punto de captación de agua y los puntos más desfavorables del terreno.

b. Evapotranspiración

Dentro del intercambio constante de agua entre los océanos, los continentes y la atmósfera, la evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor; en su sentido más amplio, involucra también la evaporación de carácter biológico que es realizada por los vegetales, conocida como transpiración y que constituye, según algunos la principal fracción de la evaporación total.

Sin embargo, aunque los dos mecanismos son diferentes y se realizan independientemente no resulta fácil separarlos, pues ocurren por lo general de manera simultánea; de este hecho deriva la utilización del concepto más amplio de evapotranspiración que los engloba. ⁽¹⁰⁾

La evapotranspiración entonces vendría siendo la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa combinado con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación, convirtiéndose este en un valor que representa el egreso del agua, dentro de la fórmula del balance hídrico. Se expresa en mm por unidad de tiempo. ⁽¹⁰⁾

Se estima que un 70% del total de agua recibida por una zona (precipitación) es devuelto a la atmósfera a través del proceso, mientras que el 30% restante constituye la escorrentía superficial y subterránea. Junto con ser un componente del ciclo hidrológico, la evapotranspiración interviene en el balance calorífico y en la redistribución de energía mediante los trasposos que de ella se producen con los cambios de estado del agua, permitiendo así un equilibrio entre la energía recibida y la pérdida. ⁽¹⁰⁾

c. Evapotranspiración de cultivo (ET cultivo) o uso consuntivo

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración son diversos, variables en el tiempo y en el espacio. Se pueden agrupar en aquellos de orden climático, los relativos a la planta y los asociados al suelo. ⁽¹⁰⁾

Esta diversidad de factores, por una parte, ha dado lugar a distintas orientaciones al abordar el complejo fenómeno y diferentes respuestas ante su estimación; ha favorecido, por otro lado, el desarrollo de una serie de conceptos inclinados a lograr una mayor precisión de ideas al referirse al fenómeno y surgen como un intento de considerar las distintas condiciones de clima, suelo y cultivo prevalecientes en el momento en que el fenómeno ocurre. ⁽¹⁰⁾

Dentro de estos conceptos encontramos, el uso consuntivo, el cual mantiene su definición desde 1952, provista por H.F. Blaney y W.D. Criddle como “la suma de los volúmenes de agua usados por el crecimiento vegetativo de una cierta área por conceptos de transpiración y formación de tejidos vegetales y evaporada desde el suelo adyacente, proveniente de la nieve o precipitación interceptada en el área en cualquier tiempo dado, dividido por la superficie del área”.⁽¹⁰⁾

En resumen se puede decir que es la cantidad de agua que la planta demanda por día y por mes.⁽⁸⁾ y se calcula por la siguiente ecuación:

$$ET_{(cultivo)} = ET_o * K_c \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

ET (cultivo): Evapotranspiración de un cultivo determinado (mm/día)

ETo: Evapotranspiración de la zona de referencia (mm/día)

Kc: coeficiente de cultivo, propio de cada cultivo y ciclo vegetativo.

d. Evapotranspiración de la zona de referencia (ETo) por el método de Penman-Monteith

El cálculo de la ETo se puede obtener en la misma zona de riego a través de datos de la cubeta evaporímetro o por medios de métodos como el de PenmanMonteith⁽¹⁰⁾, el cual puede considerarse como el método estándar de todos los métodos combinados para estimar la evapotranspiración (ET) del cultivo de referencia. La mayoría de los métodos combinados presentan ligeras dependiendo del tipo de cultivo y de la localización de los instrumentos meteorológicos.

Por esta razón, el método de Penman – Monteith utiliza términos como la resistencia aerodinámica del follaje para relacionar la altura de los instrumentos meteorológicos con la altura del cultivo y la resistencia estomática a la transpiración mínima que dependerá del tipo de cultivo y de su altura. ⁽¹⁰⁾

La ecuación de Penman – Monteith se define:

$$ET = ET \text{ radiacion} + ET \text{ aerodinamica} \text{ (Ec. 3)}$$

La ecuación final es:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right] \text{ (Ec. 4)}$$

Donde

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ^* = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar/°C)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (mb)

e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

L = calor latente de vaporización (cal/gr)

Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/°C)

γ = constante psicométrica

R_n = energía de radiación neta (cal/(cm² día)

T = temperatura promedio (°C)

G = flujo termal del suelo (cal/cm²)

e. Coefficiente del cultivo (kc)

Es un valor que describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que van desarrollándose desde la siembra a su recolección. Este valor estará en dependencia de las frecuencias de las precipitaciones. Este se puede determinar a partir del intervalo medio entre lluvia y la evapotranspiración media durante la fase inicial del cultivo y la evapotranspiración media de la fase final. ⁽⁸⁾

Estos coeficientes dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo. Dependen también de las características del suelo y su humedad, así como de las prácticas agrícolas y del riego. ⁽⁸⁾

f. Necesidades de agua de la planta

El sistema de riego por goteo a diseñar deberá satisfacer el más alto consumo de agua que pueda darse en un cultivo.

Los requerimientos de agua son determinados partiendo de la evapotranspiración (ET) en (mm/día). A partir del dato de evapotranspiración se elige el mes con mayor evapotranspiración.

Las necesidades diarias de la planta tenemos que corregirlas por los siguientes factores:

- **Factor de cultivo Kc:** Es propio de cada cultivo y varía con las fases del desarrollo vegetativo de los cultivos.

- **Factor de sombreado (Ks):** Se basa en la hipótesis de que en la zona sombreada por efecto de la sombra es inferior a la calculada.

Tabla N°1: Factor de sombreado por tipo de marco de Plantación

Ks	Marco de plantación (m)
0.5	7x7
0.6	6x6 ó 5x5
0.7	<5

Fuente: Diseño de sistema de riego eficiente.

- **Factor de aumento por valores medios (Ka)**

La ETde la zona de cultivo de toman valores medios del mes. Por consiguiente hay que tomar en cuenta que algunos días del mes será más alta por lo tanto se aplicará un factor de zona cálida $K_a = 1.20$ Y $K_a = 1.15$ para zona templada.

- **Factor de uniformidad (Ku)**

El coeficiente de uniformidad del agua indica la aplicación uniforme del agua. En el riego por goteo se puede considerar:

Tabla N°2: Coeficiente de uniformidad

Valor de CU (%)	Calificación
>94	Excelente
86-94	Bueno
80-86	Aceptable
70-80	Pobre
<70	Inaceptable

Fuente: Diseño de sistema de riego eficiente.

Al inicio de un diseño de riego se puede considerar $K_u = 1.1$ (90%)

- **Necesidades de lavado por aguas salinas (KI)**

Este índice expresa el aumento de aplicación de agua debido a la necesidad de lavar las sales que se depositan en el suelo.

IMPORTANTE

- El lavado del suelo se utiliza cuando el agua tenga una salinidad $CE > 1$ mmhos/cm. En este caso no se empleará el factor de eficiencia, K_e y si se utilizará el factor de coef. De uniformidad K_u .

- Cuando CE es igual 1 o menor que 1 mmhos/cm se utilizará el factor de lavado KI y se empleará el factor $K_{eu} = 1.2$ que engloba al factor de eficiencia y al factor de Uniformidad.

- **Necesidades diarias de agua de la Planta (ND)**

Las necesidades diarias de agua de la planta se determinan conociendo varios parámetros, conociendo primero la salinidad del agua.

sin salinidad ($C_e \leq 1$ mmhos/cm)

$$ND = K_c * K_s * K_a * K_{eu} * ET * M \quad (Ec.5)$$

Agua con salinidad ($C_e > 1$ mmhos/cm)

$$ND = (K_c * K_s * K_a * K_u * ET * M) / KI \quad (Ec.6)$$

ND: factor de cultivo (l/día por árbol)

Kc: factor de cultivo

Ks: factor de sombreamiento

Ka: Factor de aumento por valores medios (1.20)

Keu: factor global de $K_e + K_u = 1.2$

Ku: Factor de Uniformidad ($K_u = 1.1$)

Kl: Factor de lavado

ET: Evapotranspiración diaria para el mes de máximo consumo (mm/día o l/m^2)

M: Superficie que ocupa un árbol. No superará 36m^2

• Características Hidráulicas del gotero

Los goteros o emisores son los elementos más importantes del sistema por lo tanto se debe tomar en cuenta:

- Deberán proporcionar un bajo caudal a una baja presión de tal forma que los diámetros de la tuberías lateral y tubería secundaria sean los más reducido posible.
- Los caudales estandarizados son: 2 l/h, 4 L/h y 8 l/h. para iniciar un proyecto tomaremos los caudales estándar y si tenemos decidido la marca tomaremos el caudal del fabricante.
- La mayoría de los goteros trabajan a una presión máxima 1 atm (10m.c.a).

Tabla N°3: Caudal de gotero (según el cultivo)

Caudal(l/h)	Cultivos
<2	Invernaderos Hidropónicos
2-4	Hortícolas y frutales en marcos Intensivos
8	Frutales en general

Fuente: Diseño de sistema de riego eficiente.

- **Cálculo del número de gotero por Planta**

El número de goteros es la cantidad que se utilizará de ellos para mantener mojada la superficie de la planta de manera que se pueda brindar la cantidad de agua necesaria para su desarrollo. Se determina mediante la relación entre la superficie mojada por una planta, el porcentaje de humedad y la superficie mojada por el gotero.

El porcentaje de humedad para que se desarrolle adecuadamente una planta es del 33%.

- **Tiempo de Riego (T_r)**

El tiempo de riego es el tiempo necesario para que se aporte la dosis de agua que requiere la planta, y se determina mediante la relación entre la necesidad de agua de la planta, número de gotero y el caudal del gotero, se expresa en horas.⁽¹⁹⁾

- **Número de sectores (N sectores)**

Es la cantidad de sectores divididos que se podrán regar en periodos de mayor demanda de agua, esta es determinada por el tiempo de riego.⁽¹⁹⁾

- **Jornada de Riego**

Se consideran como jornada de riego al tiempo en que las instalaciones de riego estarán funcionando un cierto número de horas al día.⁽²⁰⁾

Podemos considerar una jornada adecuada 12 -18 horas.

- **Número de plantas en total en la superficie (N_p)**

El número de plantas total en la superficie, es la cantidad de plantas que se ha determinado regar y que se ajustan a la superficie destinada para ser regada.

- **Número de planta a regar Simultáneamente (Nprs)**

Es considerado como la cantidad de plantas que se estarán regando simultáneamente.

- **Caudal de Bombeo (Qb)(caudal de un sector)**

Es el caudal requerido por las instalaciones destinadas a impulsar el agua de cualquier punto al sistema de riego, estimando el caudal necesario para el número de horas de bombeo necesaria. ⁽²¹⁾

5.4.3.3 Diseño hidráulico

a. Tubería lateral

Las tubería lateral o porta emisores son lo que distribuyen el agua a las plantas acopladas a ellas. Desde el punto de vista hidráulico se comportan como tuberías con salida uniformemente espaciadas. Por lo que en el cálculo de la pérdida de carga habrá que aplicar el factor de Christiansen.

b) Diseño de Tubería Secundaria

- La tubería secundaria de PVC o PE normalmente enterrada de la cual parten los ramales de goteo que riegan un sector.
- La presión máxima tubería PVC 6 atm y PE 6 a 4 atm
- Para tuberías PVC el máximo diámetro recomendable a instalar es de 125 mm y para tubería de PE de 90 mm.

- La Tubería secundaria se unirá a la principal a través de una válvula de pase (Instalación manual) o una válvula automática (instalaciones automatizada). Es recomendable que dicha unión siempre que sea posible sea a la mitad de longitud de la tubería secundaria.⁽¹⁴⁾

b.1) Diámetro de la tubería secundaria

Para esto se necesita conocer los datos siguientes:

- Caudal en el origen de la secundaria que es igual al número de laterales que derivan de la terciarias por el caudal de cada uno.
- Longitud ficticia de la secundaria que es igual a la longitud real(L) más la longitud equivalente de los accesorios instalado.

c) Diseño Tubería Principal

La tubería principal son aquellas de las que derivan las secundarias.

- La tubería principal, es de PVC o PE de presión 6 atm, enterrada en zanja y dimensionada por el caudal que consume un sector.
- El cálculo de pérdidas de carga se realiza por el punto o sector más desfavorable, que en una zona llana es el más alejado.
- Se deberá procurar que las pérdidas de carga de la tubería principal no sobre pase 10 m.c.a.⁽¹⁴⁾

d) Requerimiento de trabajo de la bomba

El requerimiento de trabajo de la bomba se considera como el mismo caudal de origen en la tubería principal.

e) Altura manométrica total

Se considera como altura manométrica la sumatoria de las alturas geométricas mas las pérdidas de carga que se producen en las mismas para un determinado caudal circulante.⁽²²⁾

f) Potencia de la bomba

La potencia de la bomba se considera la cantidad de trabajo que ésta efectúa por unidad de tiempo. Esto equivale a la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo que se emplea para bombear el agua de la fuente al sistema.⁽²³⁾

5.5 Cultivo de la cebolla

5.5.1 Origen

El origen primario de la cebolla se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo, pues se trata de una de las hortalizas de consumo más antigua. Las primeras referencias se remontan hacia 3.200 a.C. pues fue muy cultivada por los egipcios, griegos y romanos. Durante la Edad Media su cultivo se desarrolló en los países mediterráneos, donde se seleccionaron las variedades de bulbo grande, que dieron origen a las variedades modernas.⁽¹⁵⁾

5.5.2 Morfología Y Taxonomía

La cebolla pertenece a la familia de las liliáceas, género *Allium*, especie *AlliumCepa.lin.* ⁽¹⁵⁾

La cebolla es una planta perenne, no típica, con etapa de desarrollo bienal.

⁽¹⁵⁾

La semilla de la cebolla es pequeña. Presenta por lo general dos caras, una plana y una rugosa. El peso de 1000 es aproximadamente de 2.8 a 3.7

gr. ⁽¹⁵⁾

5.5.3 Temperatura

Es una planta que se adapta bien al frío, sus procesos morfofisiológicos durante el crecimiento y desarrollo, se produce óptimamente entre 10-25°C. ⁽¹⁵⁾

La germinación de la semilla es óptima entre 18-25°C. a ésta temperatura la semilla germina a los siete días, pero también se ha encontrado que se produce a bajas temperaturas de 2 a 5 °C, pero de una manera más lenta. ⁽¹⁵⁾

La formación de las raíces ocurre perfectamente de 6 a 10°C. El crecimiento de las hojas es óptimo entre 23 a 25°C, y el mayor número de hojas en las diferentes variedades se obtiene a 25°C. ⁽¹⁵⁾

En la maduración de estos la temperatura debe estar entre los 28°C. Las temperaturas del orden de los 32°C provocan que el bulbo se quede pequeño y se trastorna el estado de reposo de la yema. ⁽¹⁵⁾

5.5.4 Humedad

Durante el periodo de maduración del bulbo, el suelo debe tener poca humedad, para que estos se desarrollen más consistentes y con mejor cierre de cuello, de esta forma tengan mayor capacidad de almacenamiento. Altas humedades retrasan la maduración del bulbo, y reducen la capacidad de almacenamiento. ⁽¹⁵⁾

5.5.5 Fisiología

En las cebollas se distinguen las siguientes fases fenológicas:

- ✓ De la germinación de la semilla a la caída de las hojas cotiledoneas. ⁽¹⁵⁾
- ✓ De la emergencia de las primeras hojas hasta el inicio de la formación del bulbo. ⁽¹⁵⁾
- ✓ Inicio de la formación del bulbo hasta máximo desarrollo de las hojas. ⁽¹⁵⁾
- ✓ Engrosamiento del bulbo hasta su maduración y secado del follaje. ⁽¹⁵⁾

5.5.6 Nutrición

La mayor parte de las sustancias nutritivas se aprovechan por las plantas en el período de crecimiento intensivo del sistema de hojas. ⁽¹⁵⁾

Tabla N°4: Fertilización en peso por área

N	90 – 130 Kg/ha
P₂O₅	20 – 40 Kg/ha
K₂O₅	12 – 180 Kg/ha

Fuente: Validación de Prácticas de Manejo integrado de Enfermedades foliares en el cultivo de Cebolla (*Allium cepa* L)

La cebolla requiere de N fundamentalmente, en la etapa de crecimiento del follaje. El P favorece la maduración de los bulbos, y el K favorece la formación de bulbos más compactos y con túnicas más gruesas. ⁽¹⁵⁾

5.5.7 Variedades

- ✓ SEBAQUEÑA: Variedad criolla obtenida en Nicaragua. Presenta un follaje bien desarrollado. El bulbo es de color blanco y es achatado.
- ✓ TORO-PAR: Presenta un follaje menos desarrollado, el bulbo es de color blanco y achatado.
- ✓ CRISTAL-WHITE: Características semejantes a la anterior, pero presenta susceptibilidad a la mancha purpura.
- ✓ RED-CREOLE: El bulbo es de color rojo, es tendiente a la deformación debido al número de yemas laterales.
- ✓ YELLOW-GRANEX: El bulbo es redondo de color amarillo, presenta alta susceptibilidad a la mancha purpura, por lo que su siembra se restringe estrictamente a la época seca.
- ✓ TEXAS-EARY: El bulbo es ovalado de color blanco, posee poca capacidad de almacenamiento.

5.5.8 Fechas de siembra

En Sébaco se siembra principalmente en los meses de Febrero- Noviembre- Diciembre. En Estelí, Jinotega y Matagalpa; en Agosto- Septiembre. ⁽¹⁵⁾

5.5.9 Establecimiento y manejo del semillero

La semilla sino es certificada debe ser desinfectada antes de ser trasplantada con:

- ✓ Captan 14.17 gr por cada 6 lb de semillas
- ✓ Arazan 12.5
- ✓ Cerezan 11.5

El semillero debe ser desinfectado con Terraclor a razón de 1oz en dos galones de agua, asperjado en 20m². Para el control de plagas del suelo, aplicar Furadan calculando ½ Lb por cada 20m². Aplicar fertilizante 10-30-10 en el semillero a razón de 5 gr por metro lineal o 50 gr por m², siete días antes de la siembra. Tapar el semillero con zacate seco efectuando riegos, y suspenderlos 3 días antes del trasplante. ⁽¹⁵⁾

5.5.10 Trasplante

Esto se efectúa 45 días después de la siembra, con una altura de planta de 12 cm. El cultivo de la cebolla no debe aporcarse debido a que cuando se realiza esta operación, los bulbos quedan pequeños y elongados. ⁽¹⁵⁾

5.5.11 Riego en la cebolla

El cultivo resulta exigente sobre todo en el periodo inicial de crecimiento del cultivo hasta la formación completa de las hojas y en la fase de la formación del bulbo, cuando éste entra en su fase de maduración, necesita de tiempos secos. De haber déficit de humedad en el suelo, los bulbos se agrietan y cuando existe exceso, aumentan las posibilidades del ataque de la mancha purpura. ⁽¹⁵⁾

El riego se suspende con el propósito de lograr en mejor secado del follaje, un mejor cierre de cuello del bulbo. ⁽¹⁵⁾

5.5.12 Control de malezas

Estas se deben de combatir en los primeros dos meses para que no se bajen mucho los rendimientos. Se plantea que el control de malezas representa el 40% del costo total de la producción. ⁽¹⁵⁾

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Localización del área de estudio

El área de estudio está localizada en el municipio de La Trinidad del departamento de Carazo, a 18 kilómetros al oeste de la ciudad de Diriamba entre los 11°51' de longitud norte y los 86°14' de latitud oeste, a una altura de 120msnm con un clima tropical seco (*Ver anexo I.1*).

6.2 Condiciones climáticas

El clima en Carazo es fresco, especialmente en la meseta (24 Centígrados promedios para Diriamba y Jinotepe), temperatura que aumenta progresivamente a medida que se baja rumbo al mar, hasta alcanzar 28° en la propia costa. De la misma manera la humedad declina de 1600 a 1700 mm de lluvia anual, en las alturas, hasta unos 1000 mm en los llanos próximos a la costa. Los vientos son notables en los primeros meses del año, Diriamba y Jinotepe se ven azotadas por verdaderas rachas de vientos de 30 Kms. por hora. ⁽¹¹⁾

6.3 Métodos

6.3.1 Determinar las características hidrofísicas del suelo, las propiedades de riego del agua de la fuente de la zona y la curva de velocidad de infiltración por el método de los anillos infiltrómetros.

6.3.1.1 Características Hidrofísicas

Para determinar las características hidrofísicas del suelo se realizaron los siguientes procedimientos:

Se caminó desde un extremo del área a muestrear hacia el centro a una distancia arbitraria, nos ubicamos en el sector de muestreo y se retiró la vegetación superficial para evitar contaminación de la muestra.

Se cavó un orificio en el suelo en forma de 'V' hasta una profundidad de aproximadamente 30cm. Luego se cortó una rebanada del suelo en uno de los lados del agujero cavado, tratando de tomar la misma cantidad de suelo cada vez. A esto se le llama sub-muestra. Se colocaron las sub muestras en el recipiente limpio.

Desde ahí, se cambió la dirección al azar y se caminó otra distancia arbitraria para tomar otra sub-muestra de suelo, de igual tamaño a la anterior.

Se tomó aproximadamente $\frac{1}{2}$ libra de suelo y la colocamos en el recipiente.

Después de haber muestreado todo el campo, se mezclaron bien todas las sub muestras en el recipiente y se tomó una parte para el laboratorio en una bolsa limpia de plástico previamente etiquetada.

Para determinar la densidad aparente se tomó una muestra de suelo sin alterar las condiciones naturales del terreno. Se usó un cilindro de PVC con 58 cm de altura y 58 cm de diámetro, el cual se introdujo en el suelo para extraer la muestra evitando alterar las características del terreno. Una vez dentro del cilindro, la muestra de suelo, se taparon los extremos, para mantener la muestra sin alteraciones.

Se llevaron las muestras respectivas al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria (LABSA) para determinar las características físicas y químicas del suelo. Otra parte de las muestras se llevaron al nuevo laboratorio de suelo de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las características físicas y químicas que se determinaron son las siguientes:

- Capacidad de campo
- Textura
- Punto de marchitez permanente
- Porcentaje de humedad
- Densidad aparente
- Densidad real.
- Características químicas del suelo
- Características físicas del suelo

6.3.1.2. Características del agua de riego

Para determinar las características del agua de riego, se realizaron los siguientes procedimientos:

En un recipiente previamente esterilizado, con un volumen de un litro, se tomó una muestra del agua de río, que es la que es usada por el productor para regar, luego de eso se llevó al Laboratorio de Suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria (UNA), para realizarle las pruebas correspondientes.

6.3.1.3. Velocidad de infiltración en el suelo

Por medio del método de los cilindros infiltrometros se realizó la prueba de infiltración, mediante los siguientes procedimientos:

Se limpió el terreno donde se hizo la prueba.

Se Introdujo los cilindros de forma vertical en el suelo por lo menos 15 cm. de profundidad.

Se Llenó de agua el cilindro externo, el cual representó el movimiento vertical y lateral del agua.

Se Llenó el cilindro interno que es el que determinó el movimiento descendente hasta que el agua alcanzó los 20 cm. en la regla graduada, en ese momento se tomó la hora de inicio de la prueba. Se observó que el agua no bajara más de 3 cm.

Se tomó lecturas del nivel de agua cada 1, 5, 10, 15, y 30 minutos.

Luego que se tomó la lectura y la hora, se repuso nuevamente el agua hasta que alcanzó el nivel de 20 cm.

La secuencia se repitió hasta que se obtuvo un tiempo constante.

Se realizó los cálculos respectivos para obtener los valores de la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada.

Para el cálculo de la infiltración el académico ruso A. N Kostiakov. Propuso una ecuación para determinar la velocidad de infiltración:

$$VI = at^b \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

VI: Velocidad de Infiltración, en cm. /h

T: Tiempo transcurrido en min.

a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración

b: es un exponente sin dimensión, siempre con valores entre 0 a -1.

Los valores de a y b se determinan analíticamente a través del método de regresión o mínimo cuadrado mediante las ecuaciones 8 y 9:

$$a = \left[\sum I_n - \frac{(b * \sum \ln * t)}{N} \right] \quad (\text{Ec.8})$$

$$b = \left[N * \sum (\ln VI * \ln t) - \left[\sum \ln t * \frac{\sum \ln VI}{(N * \sum \ln 2) - (\sum (\ln t)^2)} \right] \right] \quad (\text{Ec.9})$$

Al determinar los valores de a y b en la siguiente ecuación se emplean para determinar la infiltración acumulada:

$$I_{acum} = \frac{a}{60(b+1)} * t^{(b+1)} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

I_{acum}: infiltración acumulada en un tiempo t (mm).

T: Tiempo transcurrido en min.

Luego se determina el valor de la infiltración básica mediante la siguiente ecuación.

$$Ib = a * (-600 * b)^b \quad (\text{Ec.11})$$

6.3.2 Conocer el caudal de riego disponible y el caudal de las fajas a través de métodos de medición de caudales.

Al medir el caudal de riego disponible, se logró conocer los datos del consumo o volúmenes de agua que se requirió en el sistema para aplicarlo al cultivo.

El caudal de la bomba se midió utilizando el método volumétrico y método de la escuadra esto permitió comparar los resultados y así minimizar los errores al determinar el caudal. Los caudales en la cabecera de las melgas se midieron por el método del vertedero rectangular.

6.3.3.1 Aforo de la bomba usando el método volumétrico

Se midió el caudal que la bomba le brindó a la parcela, mediante el uso del siguiente procedimiento:

Se colocó el tubo que está conectado a la bomba y que es usado para ingresar el agua a la parcela, en un recipiente con un volumen de cinco galones.

Se colectó el agua anotando el tiempo en que demora en llenarse, esto haciendo uso del cronometro.

Se repitió la operación diez veces. Luego se promediaron los tiempos y así se determinó el caudal.

Mediante la siguiente ecuación se determinó el caudal promedio brindado.

$$Q = V/t \quad (\text{Ec.12})$$

6.3.3.2 Aforo de la bomba usando el método de la escuadra

Para aplicar el método de la escuadra se hizo uso de los siguientes pasos:

Se colocó la escuadra sobre el tubo de descarga de la bomba, donde el lado de mayor longitud fué sobre el borde del tubo.

Se corrió el lado más corto sobre el tubo, hasta que rozó la parte superior del chorro en la descarga.

Se tomó los lados de "X" que es el lado horizontal.

Luego de obtenidos los datos se verificó el valor del caudal usando la siguiente tabla:

Tabla Nº 5: Caudal Q por el método de la escuadra (lps)

Distancia en cm.	Diámetro de la tubería en mm						
	50	75	100	125	150	200	250
	Caudal en litros / segundo						
5	0,4	1	1,8	2,7	4	7	11
7.5	0,7	1,5	2,6	4,1	5,1	10,6	16,5
10	0,9	2	3,5	5,5	7,9	14,1	22
12.5	1,1	2,5	5,4	6,9	9,9	17,6	27,4
15	1,3	3	5,3	8,3	11,8	21,2	33
17.5	1,5	3,5	6,2	9,6	13,9	24,6	38,6
20	1,8	4	7	11	15,8	28,2	44
22.5	2	4,4	7,9	12,4	17,8	31,6	49,5
25	2,2	4,9	8,8	13,8	19,8	35,2	55
27.5	2,4	5,4	9,7	15,1	21,9	38,6	60,5
30	2,6	5,9	10,6	16,5	23,7	42,3	66
32.5	2,8	6,4	11,5	17,9	25,8	45,8	71,5
35	3,0	6,9	12,4	19,2	27,7	49,4	77,0
37.5	3,3	7,4	13,2	20,6	29,7	52,8	82,5
40	3,5	7,9	14,2	22,0	31,7	56,4	88,0
42.5	3,7	8,4	14,9	23,4	33,6	60,0	83,5
45	4,0	8,9	15,7	24,8	35,7	63,5	99,0
47.5	4,2	9,4	16,7	26,1	37,6	67,0	105
50	4,4	9,9	17,7	27,5	39,6	70,5	110
52.5	4,6	10,4	18,5	28,9	41,6	74,0	116
55	4,8	10,9	19,4	30,2	43,6	77,5	121
57.5	5,0	11,4	20,2	31,6	45,5	81,0	127
60	5,3	11,9	21,2	33,0	47,5	84,5	132

Fuente: <http://aforo.elregante.com/>

Se determinó el caudal, usando los valores de la tabla N° 5, para un diámetro de tubería de 63 mm o 2 ½", y un valor de "X" igual a 10, al no encontrarse en la tabla, valor para diámetro de 63mm, éste se interpoló y así se obtuvo el valor perteneciente.

6.3.2.3 Aforo del caudal en la cabecera de la faja usando el método del vertedero rectangular

Se midió el caudal en la entrada de la faja, o en su cabecera, utilizando un vertedero rectangular de **L=29,5cm** y **H= 3cm**. Se usó la ecuación N° 13, obteniéndose el valor de dicho caudal.⁽¹⁶⁾

$$Q = 1.84L - 0.2h^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

Q = caudal en m³/s

L = longitud (ancho) de la cresta vertedora en m.

h = carga sobre el vertedor en metros

6.3.3. Determinar los parámetros del sistema de riego para comprobación de las eficiencias de aplicación, eficiencia de distribución y eficiencia de riego.

6.3.3.1. Determinación de la profundidad explorada por las raíces

Para determinar la profundidad explorada por las raíces, y conocer el aprovechamiento del riego por las mismas, se utilizó los siguientes procedimientos:

1. Se seleccionó el área de estudio, que fué el sector que presentó mayor desarrollo vegetativo.

2. Se cavó una trinchera de 40cm x 30cm tangente al tallo de la misma, y perpendicular a la faja.
3. Sé observó en la trinchera, el sistema radicular de la cebolla, y se comparó la profundidad radicular con la profundidad humedecida por el riego (*ver fotografía en AnexoXII.8*).

6.3.3.2. Determinación de los tiempos de aplicación, tiempo de oportunidad de infiltración y tiempo de avance y sus curvas respectivas.

Mediante pruebas de campo se determinó el tiempo de avance, tiempos de oportunidad de infiltración o tiempo de retirada y el contenido de humedad en el suelo a lo largo de la faja y pendiente transversal de la faja.

Para realizar las pruebas de campo se utilizó los siguientes procedimientos:

Se eligió tres fajas de la parcela que fueron representativas de las características de esta, mostrando condiciones edafológicas homogéneas. El suministro de agua introdujo caudales con que trabaja el productor en las fajas. Las pruebas se realizaron para cada una de las fajas independiente.

Se colocó un mínimo de cinco estacas a lo largo del borde de la faja; según la longitud de la faja, se colocaron las estacas cada 5 mts. Cada uno de estas estacas corresponde a una estación. Se midió el ancho mojado de cada faja y la distancia entre los caballones.

Se determinó el déficit de humedad en el suelo al inicio de la prueba mediante la evaluación de la infiltración y cuando se finalizaron las pruebas, se comparó con el descenso tolerable de humedad.

Si la diferencia es apreciable, la evaluación se verá considerablemente afectada ya que las velocidades de infiltración y avance de la lámina de agua dependen del contenido de agua del suelo.

Se introdujo el caudal a las fajas, se anotó la hora en que el caudal es introducido a la faja, la hora en que se cortó y cualquier variación que se presentó. Estos datos se registraron en la hoja de campo, impresa correspondiente.

El corte de la entrada del caudal se efectuó cuando el frente de la lámina de agua estuvo alrededor de 90% de la longitud total de la faja.

Se anotó la hora en que el frente de la lámina de agua alcanzó cada estación. También se anotó la hora en que el agua desapareció de cada estación.

Se determinó el contenido de agua a diferentes profundidades en el suelo uno o dos días después del riego, para comprobar si este ha sido adecuado.

Se determinó las cotas de las estaciones para obtener la pendiente longitudinal de la faja.

Se determinó con el GPS la pendiente transversal de la fajas.

Para facilitar el estudio e interpretación de los datos obtenidos en el campo, estos se representaron gráficamente(*ver anexo I.1*).

a. Curva de agua infiltrada

A partir de los datos recogidos en la prueba de infiltración aplicando el método de los cilindros infiltrómetros, se representó en un gráfico, la curva de lámina de agua infiltrada en función del tiempo, determinada por las ecuaciones 7 y 10 (*Ver páginas 38 y 39*).

b. Curvas de avance y retirada

Una vez levantados los datos, se promediaron los datos de cada faja para obtener la curva de avance y la curva de retirada, el espacio que se acumula entre ellas es el tiempo de oportunidad o el tiempo en que tardó la lámina de agua en infiltrarse.

La curva de avance se dibujó haciendo corresponder la distancia de cada estación con la hora de llegada de la lámina de agua. La curva de retirada se dibujó haciendo corresponder la distancia de cada estación con la hora en que el agua desaparece de la misma. (*Ver resultado pag.65*)

La longitud de la faja coincidió con el final de la parcela; al no poder medir la escorrentía, ésta se representó gráficamente extrapolando las curvas de avance y retirada hasta su intercepción. (*Ver resultado pag.66*)

Para determinar las eficiencias del sistema de riego con los datos de campo se procedió a calcular los siguientes parámetros:

c. Determinación del descenso de humedad

Se midió el descenso de humedad a lo largo de la longitud de la faja, después de la aplicación del riego, a una profundidad de 30 cm tomando en cuenta la profundidad radicular del cultivo.

d.Lámina de agua infiltrada "Típica"

La elaboración de esta lámina se realizó a partir de los datos de avance y retirada. Tomando como tiempo (T_o) el tiempo que el agua está sobre el terreno en cada estación (tiempo de oportunidad de infiltración). Este tiempo se obtiene por diferencia de tiempos en cada estación sobre las curvas de avance y retirada.

Una vez que se obtuvo los valores de T_o , estos se introdujeron en la ecuación de infiltración acumulada $I_{acum}=4.3164*t^{0.4401}$ en milímetros, se promedió los valores de cada estación tomando en cuenta el valor de la escurrentía para determinar la lámina media infiltrada según la curva típica denominada (a). (Ver resultados pág.66)

e.Profundidad media real de agua aplicada (mm)

Como comprobación de la posición que ocupa la lámina de agua infiltrada típica se calculó la profundidad media real de agua aplicada con la siguiente ecuación:

$$L_{\text{lámina real de agua aplicada}} = \frac{Q_{\text{faja}}(m^3 / seg) * T_a(\text{min}) * 60}{L_{\text{mel gas}}(m) * \text{ancho}(m)} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

Q:Caudal de la faja(m³/seg)

Ta: Tiempo de aplicación en min

L: Longitud de la Faja en m

Ancho: Ancho de la faja en m

f. Lámina de agua infiltrada "Ajustada"

La lámina de agua ajustada es para representar lo que está ocurriendo en las fajas al compararlo con la lámina real de agua aplicada. Se calculó un factor de ajuste que es la relación entre la altura media infiltrada según la curva típica y la lámina media real de agua aplicada.

Dicho factor, se multiplicó con la ecuación de infiltración acumulada típica y así se determinó la ecuación de infiltración acumulada ajustada $= 3.94167 * t^{0.4401}$. En ésta ecuación se sustituyó T_0 , de la forma de la curva típica, así se determinó el valor de la lámina media real aplicada según la curva ajustada para la longitud total de la faja, incluyendo la escorrentía denominada (a_2). (Ver resultados pág.66)

6.3.3.3. Determinación de la eficiencia de aplicación, eficiencia de riego y eficiencia de distribución

a. Eficiencia de distribución (E_d)

Es la relación entre la lámina mínima infiltrada y la lámina media infiltrada. Para el cálculo de esta eficiencia tomamos la longitud real de la faja sin la parte extrapolada ya no se toma en cuenta la escorrentía. La lámina media infiltrada para la longitud real de la faja lo tomamos con el valor medio de la infiltración ajustada denominada (a_3) (ver anexo VI). La lámina mínima infiltrada corresponde al valor mínimo infiltrado a lo largo de la faja. La eficiencia se calculó con la siguiente ecuación.

$$E_d = \frac{\text{Lámina mínima infiltrada (mm)}}{\text{Lámina promedio aplicada (mm)}} * 100 \quad (\text{Ec.15})$$

b. Eficiencia de riego del sistema (Ei)

Es la relación de la lámina mínima infiltrada a largo de la faja tomando en cuenta el valor de la escorrentía con la altura media total aplicada tomando en cuenta los valores de la escorrentía denominada (a_4) . La eficiencia del sistema se cálculo con la siguiente ecuación:

$$E_i = \frac{\text{Lámina mínima infiltrada (mm)}}{\text{Lámina total aplicada en el perfil (mm)}} * 100 \quad (\text{Ec.16})$$

c. Eficiencia de aplicación (Ea)

Es la relación entre descenso de humedad del suelo retenida en la zona radicular al momento del riego y la lámina bruta de agua aplicada y distribuida a lo largo de la faja considerando la parte extrapolada, y dividida entre el número de estaciones de la faja estudiada. La eficiencia se calculó con la siguiente ecuación.

$$E_a = \frac{\text{Lámina de agua retenida en la zona radicular (mm)}}{\text{Lámina total aplicada en el perfil (mm)}} * 100 \quad (\text{Ec.17})$$

6.3.3.4 Equipos y materiales utilizados en las prueba de campo

a. Prueba de muestreo de suelo

Equipos y materiales

- Balde limpio
- Bolsa plástica
- Marcador permanente
- 1 pala

- 1 cilindro de 54.76 cm³
- Sellador

b. Prueba de Infiltración

Equipos y materiales

- ✓ 2 cilindros metálicos, de 30 y 45 cm. de diámetro y 45 cm. de altura.
- ✓ 1 regla graduada en centímetro.

c. Aforo de bomba

Equipos y materiales

- ✓ Balde con un volumen de cinco galones.
- ✓ Un tubo o Manguera.
- ✓ Un cronometro.

d. Aforo de la cabecera de la faja

Equipos y materiales

- ✓ Escuadra de 90°, midiendo el lado largo 30 pulgadas, y el lado más corto, cuatro pulgadas, ambas medidas bien graduadas.

e. Determinación de la curva de avance y curva de retirada

Equipos y materiales

- ✓ Cinta métrica

- ✓ Jalones o estacas para situarlas a lo largo de la faja
- ✓ Cronómetro
- ✓ Aforadores
- ✓ Barrenos para tomar muestras de suelo
- ✓ Accesorios de trabajo en campo (pala, martillo etc.)
- ✓ Hojas de levantamiento en campo para anotar los datos registrados.
- ✓ Útiles topográficos para determinar la pendiente de las fajas.
- ✓ Útiles para determinar la humedad del terreno.

6.3.4 Diseño del sistema de riego adecuado a las condiciones de la parcela a partir de los resultados de la evaluación

Una vez que se obtuvo los resultados de la evaluación, se procedió a identificar un sistema de riego que pudiera ser adaptado a las condiciones parcelarias, que permitiera una optimización y conservación del recurso agua, que fuese eficiente y que lograra un ahorro de energía, todo esto con el fin de evitar pérdidas económicas. Se optó por el sistema de riego por goteo, ya que conserva las características antes mencionadas.

6.3.4.1. Diseño agronómico

a. Dimensionamiento de la parcela

Se realizaron las diferentes mediciones con el equipo GPS, para conocer las dimensiones de la parcela a regar, el punto de captación de agua y los puntos más desfavorables del terreno.

b. Cálculo de la Evapotranspiración (ETO)

Para calcular la evapotranspiración de la zona (ETO), se utilizó el software CROPWAT 8. Este programa está diseñado por la FAO y su cálculo se basa en el método de PenmanMonteith. (ver anexo IV)

c. **Cálculo de la evapotranspiración (ETcultivo)**

Para calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_o) se utilizó el software CROPWAT 8. Este programa está diseñado por la FAO y su cálculo se basa en el método de Penman-Monteith.

d. **Factor de cultivo K_c**

Este valor se consideró a partir del intervalo medio entre lluvia y la evapotranspiración media durante la fase inicial del cultivo y la evapotranspiración media de la fase final.

Para esto también se usó el CROPTWAT y se seleccionó el valor del K_c, en el mes más caluroso del ciclo del cultivo.

e. **Factor de sombreado (K_s)**

De acuerdo a la tabla (Nº1) del marco teórico, se eligió el valor de 0.7, por ser el marco de plantación menor a 5.

f. **Factor de aumento por valores medios (K_a)**

De acuerdo a los valores de K_a en el marco teórico se eligió el valor para la zona cálida de 1.20.

g. **Factor de uniformidad (K_u)**

De acuerdo al marco teórico, se eligió el valor de inicio de diseño 1.1

h. Necesidades de lavado por aguas salinas (KI)

Usando la información del análisis de agua, y conociendo el valor de CE, de acuerdo al marco teórico, para determinar el valor de KL, se usaron las siguientes ecuaciones 18 y 19:

$$KI = 1 - NL \quad (\text{Ec. 18})$$

donde:

$$NL = \frac{CE}{2CS} \quad (\text{Ec. 19})$$

NL: Necesidad de lavado

CE: Conductividad eléctrica del agua de riego (mmhos/cm)

CS: Conductividad eléctrica del suelo (mmhos/cm)

i. Cálculo de la necesidad diaria de agua de la planta.

Para determinar este valor ND, se usó la ecuación N°5 y se sustituyó los valores de Kc, Ks, Ka,ET, M, KI y Keu= 1.2.

$$ND = Kc * Ks * Ka * Keu * ET * M \quad (\text{Ec.5})$$

j. Características Hidráulica del gotero

Se eligió un gotero de 16mm integrado de la línea NaanRON®, con una presión de operación de 1 Bar y un caudal de 1.8 l/h.

k. **Cálculo número de gotero por planta**

- Cálculo del solape porcentaje

$$S = \frac{a}{r} * 100 \quad (\text{Ec.20})$$

S= Solape expresado en tanto por 100.

a = Distancia recubierta por dos bulbo consecutivo, considerado como el 30% de la separación de gotero.

r= Radio del bulbo.

- **Cálculo de la distancia entre gotero**

$$D = r(2 - \frac{S}{100}) \quad (\text{Ec.21})$$

- **Superficie mojada por el gotero en m²**

$$Smj = \Pi * r^2 \quad (\text{Ec.22})$$

- **Cálculo de número de gotero**

$$e \geq \frac{Sp * Pm}{Smj} \quad (\text{Ec.23})$$

e = Número de gotero por planta

Sp= superficie que ocupa una planta en m² (Normalmente coincide con el marco de plantación siempre y cuando no sobre pase 36m², cifra que se tomará cuando ocurra esta circunstancia)

Pm= Porcentaje de superficie mojada (en decimales) (En árboles aumenta su producción si se riega 33%)

Smj= Superficie que moja un gotero en m². Esto depende del caudal y número gotero por planta, tipo de suelo, tipo de riego.

- **Cálculo tiempo de Riego (Tr)**

$$Tr = \frac{Dn}{Ng * Qg} \quad (\text{Ec.24})$$

Donde:

Tr= Tiempo de Riego (horas)

Dn= Necesidades Diarias (l/día por árbol)

Ng= Número de gotero por planta

Qg= Caudal del gotero (l/h)

I. Cálculo del número de sectores (N sectores)

$$N \text{ sectores} = \frac{Jornada}{Triego} \quad (\text{Ec.25})$$

m.Cálculo Caudal de bombeo

- **Número de plantas en total en la superficie (Np)**

Para el cálculo de número de plantas se dividió la parcela en 6 camas de 14.3 metros de largo x 1 metro de ancho, siendo ésta la superficie de cultivo, luego este valor se dividió entre 0.02mt² que representa al marco de plantación, así como lo indica la ecuación N°26.

$$Np = \frac{\text{Superficie}(m^2)}{\text{Marcoderiegooplantación}(m^2)} \quad (\text{Ec. 26})$$

- **Número de plantas a regar Simultáneamente (Nprs)**

Se tomó el número de plantas total distribuidas en área útil y se dividió entre el número de sectores. En este caso consideremos un solo sector por las características del área. Acá se utilizó la ecuación N°27.

$$Nprs = \frac{\text{Númeroplantatotal}}{\text{Númerode sectores}} \quad (\text{Ec. 27})$$

- **Caudal Bombeo (Qb)(caudal de un sector)**

$$Qb = Nprs * Ng * Qg \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

Nprs= Número de planta a regar simultáneamente

Ng= número de goteros

Qg= Caudal del gotero

- **Caudal Necesario para regar 1 ha de cultivo:**

$$Qn = \frac{Qb(l / s)}{A(ha)} \quad (\text{Ec.29})$$

6.3.4.2 Diseño hidráulico

a. Cálculo de la tubería lateral

Para el diseño de la tubería lateral tomamos en cuenta los siguientes criterios hidráulicos:

a.1) Número de emisores por lateral

Se determinó mediante la siguiente ecuación

$$n = \frac{\text{longitud del lateral}}{\text{separacion entre gotero}} \quad (\text{Ec.30})$$

a.2) Caudal en el origen de un ramal lateral

Se determinó mediante la ec N° 31, que es la siguiente:

$$Q = n * q \quad (\text{Ec.31})$$

a.3) Longitud ficticia del lateral

Se determinó mediante la ec N° 32, que es la siguiente:

$$Lf = L + n.le \quad (\text{Ec.32})$$

a.4) Cálculo de las pérdidas de carga admisible en el lateral

Se determinó mediante la ec N° 33, que es la siguiente:

$$h_a = \frac{0.10}{x} H * 0.55$$

(Ec 33)

a.5) Cálculo del diámetro del lateral

Se determinó mediante la ec N° 34, que es la siguiente:

$$h = J * F * L_f$$

(Ec 34)

El factor **F**=Factor Christiasen, tomado para ésta ecuación fue de 0.390
(Ver anexo tabla VIII. 1)

Luego se igualaron las ecuaciones N° 33 y 34 obteniéndose la ecuación N° 35 y que se sustituyó en la ecuación de Blasius N° 37, luego se cambiaron las unidades resultando la ecuación N° 38.

$$h_a = h$$

$$\frac{0.10}{x} * H * 0.55 = J * F * L_f$$

$$J = \frac{0.055 * h}{x * F * L_f}$$

(Ec 35)

Sustitución en la fórmula de Blasius.

$$J = 0.00083 * D^{-4.75} * Q^{1.75} = \frac{0.055 H}{x * F * L_f}$$

(Ec.36)

$$D = \left(\frac{0.00083 * Q^{1.75} * x * F * Lf}{0.055 * H} \right)^{1/4.75} \quad (\text{Ec.37})$$

Dónde:

D=Diámetro del lateral en mm

Q=Caudal en litros/hora

Lf=Longitud ficticia en m

H=Presión de trabajo del emisor en mca

Cambiando de unidades:

$$D = \left(\frac{0.496 * Q^{1.75} * x * F * Lf}{0.055H} \right)^{1/4.75} \quad (\text{Ec. 38})$$

Dónde:

D=Diámetro del lateral en mm

Q=Caudal en litros/hora

Lf=Longitud ficticia en m

H=Presión de trabajo del emisor en mca

Una vez conocido el valor del diámetro se tomó el inmediato superior de acuerdo a los diámetros comerciales.

a.6) Pérdida de carga real del lateral

Se calculó con el método de Blasius, usando la ecuación N° 39 mostrada por la siguiente fórmula:

$$h = J * F * Lf = \frac{0.496 * Q^{1.75} * F * Lf}{D^{4.75}} \quad (\text{Ec.39})$$

Donde:

h=Pérdidas de carga en el lateral, en mca

D=Diámetro de la tubería comercial elegida en mm

Q= Caudal en litro/hora

Lf= Longitud ficticia en m

a.7) Presión necesaria en el origen del lateral

En un lateral porta aspersores horizontales la presión en el origen se obtuvo usando la ecuación N° 40, mostrada:

$$Po = Pm + 0.73h \pm Hg / 2 \quad (\text{Ec. 40})$$

Dónde:

Po= Presión en el origen del lateral mca

Pm= Presión media en el lateral en mca

h= Pérdida de carga en el lateral en m

Hg= Desnivel geométrico entre los extremos del lateral.

+= Cuando el desnivel es ascendente

- =Cuando el desnivel es descendente.

b) Diseño de Tubería Secundaria

Para el diseño de la tubería secundaria se consideraron los siguientes criterios:

b.1) Caudal en el origen de la tubería secundaria

Se determinó usando la ecuación 41, mostrada:

$$Q_{Sec} = Q_{lat} * N^{\circ}lat \quad (Ec41)$$

b.2) Longitud ficticia de la secundaria.

$$Lf = a * L \quad (Ec. 42)$$

El valor de “a” varía de 1.05 a 1.20, por tanto se determinó un valor intermedio entre estos dos, y se obtuvo un valor de 1.125.

b.3) Pérdida de carga admisible en la secundaria

$$h'a = \frac{0.10}{x} (H - h) \quad (Ec. 43)$$

h'a= Pérdida de carga admisible en la secundaria

H=Presión del trabajo del emisor

x= Exponente de carga del emisor

h=Pérdida de carga real en el lateral (se toma el lateral de mayor pérdida de carga)

b.4) Diámetro de la tubería secundaria

$$h'a = h' = J * F * Lf$$

$$J = \frac{h'a}{F * Lf} \quad (\text{Ec } 44)$$

Sustituyendo en la fórmula de Blasius:

$$J = 0.00083 D^{-4.75} * Q^{1.75} = \frac{h'a}{F * Lf}$$

$$D = \left(\frac{0.00083 * Q^{1.75} * F * Lf}{h'a} \right)^{1/4.75} \quad (\text{Ec.45})$$

D= Diámetro de la secundaria en m

Q= Caudal en m³/seg

Lf= Longitud ficticia en m

h'a= Perdidas de carga admisible en mca

Cambiando de unidades

$$D = \left(\frac{0.496 * Q^{1.75} * F * Lf}{h'a} \right)^{1/4.75} \quad (\text{Ec } 46)$$

D= Diámetro de la secundaria en mm

Q= Caudal en litros/hora

Lf= Longitud ficticia en m

h'a=Pérdida de carga admisible en mca

Se elige el mayor diámetro comercial más próximo al que en el cálculo

El factor **F**=Factor Christiasen, tomado para ésta ecuación fue de 0.406
(Ver anexo I tabla N°1)

b.5) Pérdida de carga producida en la secundaria

Para determinar la pérdida de carga en la secundaria se usó la ecuación 47, mostrada por la siguiente fórmula:

$$h' = J * F * Lf = \frac{0.496 * Q^{1.75} * F * Lf}{D^{4.75}} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

h'= pérdidas de carga en la secundaria, en mca

D= Diámetro interno de la tubería comercial elegida en mm.

Q= Caudal en litro/hora

Lf= Longitud ficticia en m

b.6) Presión en el origen de la secundaria

Para determinar esto, se usó la ecuación N°48 mostrada por la siguiente fórmula:

$$P'o = Po + 0.73h \pm Hg / 2 \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde:

P'o= Presión en el origen de la secundaria mca

Po=Presión en el origen del lateral en mca

h= Pérdida de carga en el lateral en m

Hg= Desnivel geométrico entre los extremos del lateral.

+= Cuando el desnivel es ascendente

= Cuando el desnivel es descendente.

c) Diseño de la tubería principal

c.1) Caudal y Diámetro de la tubería principal

Para conocer el diámetro de la tubería principal, se usó la ecuación 49 y 50 expuesta en el marco teórico, mostrada por la siguiente fórmula:

$$Q = v \frac{\pi * D^2}{2} \quad (\text{Ec } 49)$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * v}} \quad (\text{Ec. } 50)$$

Donde:

D= Diámetro en m

Q= Caudal que atraviesa la tubería secundaria en m³/seg

v= Velocidad en m/seg, donde para riego por goteo, la velocidad máxima permisible es de 1m/s.

c.2) Longitud ficticia de la principal

Se usó la ecuación N°51, mostrada por la siguiente fórmula:

$$L_f = 1.20 * L \quad (\text{Ec. } 51)$$

c.3) Pérdida de carga en la tubería principal, según Blasius

Se usó la ecuación N°52, mostrada por la siguiente fórmula:

$$h = J * Lf = \frac{0.496 * Q^{1.75} * Lf}{D^{4.75}} \quad (\text{Ec. 52})$$

c.4) Presión en el origen de la tubería principal

Se usó la ecuación N°53, mostrada por la siguiente fórmula:

$$P = P'o + h \pm Hg \quad (\text{Ec. 53})$$

P= Presión en la entrada de la tubería principal en mca

P'o= Presión en el origen de la tubería secundaria

h= Pérdida de carga en m

hg= Desnivel del terreno

Se tomó la presión en el tramo más desfavorecido.

d) Requerimiento de trabajo de la bomba

El requerimiento de trabajo de la bomba se consideró el mismo caudal de origen en la tubería principal.

e) Cálculo de la altura manométrica total

Para lograr esto se determinó la presión de cada uno de los siguientes parámetros:

P.de C. tubería o portagotos
P.de C. tubería secundaria
P.de C. tubería Principal
P.de C. accesorios tubería
P.de C. válvula automática
P.de C. cabezal de goteo o est. De filtrado
P.de C. accesorios de aspiración e impulsión
Nivel Dinámico del agua
Desnivel geométrico
Presión de trabajo del gotero
P. de C. en equipo de fertirrigacion
= ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL

f). Potencia de la bomba

Esta se calculó por la ecuación N°54, mostrada por la siguiente fórmula:

$$P_B = \frac{Q_{\text{del sistema}} * Alt_{\text{man total}}}{75 * 0.75}$$

VII. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 Características hidrofísicas del suelo

Los resultados de los análisis físicos, químicos e hidrofísicos del suelo, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 6: Características físicas del suelo

Nº	MUESTRA	% PARTICULAS			% H	CLASES TEXTURAL
		ARCILLA	LIMO	ARENA		
1	A	29.2	23.4	47.4	1.12	FRANCO

Fuente: Laboratorios de suelos y aguas, LABSA/UNA.

Para determinar la textura del suelo se calcula el porcentaje de arcilla, limo y arena. En la tabla N°6 se observa los resultados del análisis que corresponde al porcentaje de arcilla de 29.2, porcentaje de limo 23.4 y porcentaje de arena 47.4. De acuerdo a la clasificación del triangulo textural el suelo se clasifica como suelo franco. Se determinó el porcentaje de humedad a través de la prueba gravimétrica, el resultado es de 1.12%.

Tabla N° 7: Características químicas del suelo

Nº	MUESTRA	PROF (cm)	pH	M.O (%)	N (%)	P-dis (ppm)	CE (µS/cm)	Me/100gr		MICROS			
								Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
1	B	40	6.5	3.3	0.2	39.5	44.2	20.4	3.9	26	2.4	6.7	49.2

Fuente: Laboratorios de suelos y aguas, LABSA/UNA

En la tabla N° 7, presentamos los resultados de las características químicas del suelo. El nivel de acidez del suelo (Ph) es de 6.5. De acuerdo al rango de clasificación aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua, tiene una clasificación de Ph ligeramente ácido, valor adecuado para el cultivo de la cebolla. Los indicadores de macronutrientes muestran que el suelo presenta un porcentaje de materia orgánica de 3.3% considerándose suelo con medio contenido de materia orgánica.

Los macro nutrientes presentado en el análisis de suelo un porcentaje de nitrógeno de 0.2%, fósforo, disponible en 39.5 ppm, calcio 20,4 Me/100gr y magnesio de 3,9 . De acuerdo a la clasificación de suelo de Nicaragua el porcentaje de nitrógeno es alto por ubicarse en el rango de mayores de 0.15. El porcentaje de fósforo es alto y corresponde en el rango de clasificación mayores de 20 ppm, el calcio está clasificado como alto y se ubica en rango mayores 5.5 meq/100gramos y el magnesio se clasifica en alto por pertenecer al rango mayores de 1 meq/100 gramos.

Los resultados reflejan los micronutrientes en el suelo con cantidades de hierro(Fe) de 26 ppm, Cobre(CU) con 2.4 ppm, zinc(Zn) 6.7 ppm y Manganeseo(Mn) 49.2. De acuerdo a la clasificación aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua(véase *anexo III*) el porcentaje de hierro, zinc y cobre se clasifica como alto por encontrarse en el rango mayores de 26 ppm, mayores a 4.2-5.3 ppm, alto 2.2-3 ppm respectivamente.

Tabla N° 8: Características hidrofísicas del suelo

Nº	MUESTRA	%		gr/cm ³	
		Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez (Pm)	Densidad aparente (Da)	Densidad real (Dr)
1	C	26.54	11.90	1.46	2.44

Fuente: Laboratorio de suelo-UNI

Las características hidrofísicas se presentan en la tabla N° 8, los resultados muestran el suelo con capacidad de campo(Cc)de 26.54%, punto de marchitez permanente(pmp) de 11.90 %, densidad aparente(Da) de 1.46 gr/cm³ y la densidad real(Dr) de 2.44 gr/cm³.De acuerdo a la clasificación de las características físicas del suelo de José Luis fuentes Yagues en técnicas de riego para suelos francos, la capacidad de campo se encuentra dentro del rango de clasificación (18-26) % en peso de suelo, PMP se encuentra dentro del rango de clasificación (8-12) % en peso de suelo, y la Da, se encuentra dentro del rango de clasificación (1.35-1.40) gr/m³.(Veáse *anexo III*)

7.2 Análisis de agua para riego

Tabla N° 9: Análisis de agua para riego.

Nº	MUESTRA	CE(μS/cm)	pH	RAS
1	A	375	7.64	6.04

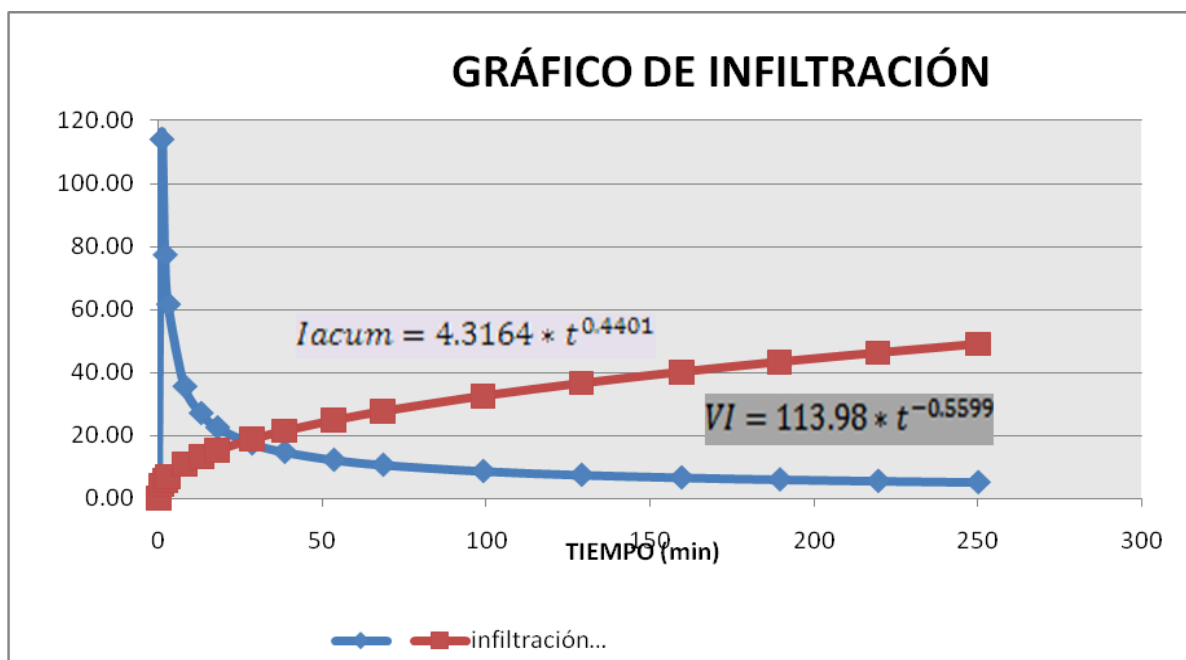
Fuente: Laboratorios de suelos y aguas, LABSA/UNA.

De acuerdo a los resultados del análisis de agua mostrado en la tabla N° 9, se observa que el agua usada para irrigación posee una conductividad eléctrica de 375μS/cm, con un pH de 7.64, y un RAS (relación de absorción de sodio) de 6.04. Todo esto indica que el agua a usar tiene una salinidad media, que puede ser usada si hay lavado moderado, lo que permite que la cebolla por ser un cultivo con moderada tolerancia a las sales no se vea afectada por éste contenido de salinidad. (Véase *cuadro interpretativo N°5, anexolll*)

7.3 Velocidad de infiltración del suelo

En el grafico N°1, representa la curva de velocidad de infiltración y la infiltración acumulada que presentó el suelo estudiado.

Gráfico N°1: Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada



Fuente: Propia.

El gráfico, muestra la curva de velocidad de infiltración con una ecuación de $VI=113.98*t^{-0.5599}$ y la infiltración acumulada con una ecuación de $I=4.3164*t^{0.4401}$.

Tabla N° 10: variables adquiridas mediante prueba de infiltración

A	B	Ecuación de Infiltración básica en cm/hr (lb)
113.984228	-0.559917822	4.3887

Fuente: Propia

La tabla N° 10 muestra las variables calculadas de la velocidad de infiltración e infiltración básica. De acuerdo a los resultados la infiltración básica es de 4.3887 cm/hr, clasificando a la velocidad de infiltración como velocidad de infiltración moderada, la cual se encuentra dentro del rango de clasificación 2-6.4 cm/hr(Ver Tabla N°11).

Tabla N°11. Régimen de velocidad de infiltración

Criterio de clasificación	Velocidad de Infiltración	
	Pulg/hr	Cm/hr
Muy bajo	menos de 0.05	menos de 0.13
Bajo	0.05-0.20	0.13-0.50
Moderada baja	0.20-0.80	0.50-2
Moderada	0.80-2.50	2-6.40
Moderada rápida	2.50-5	6.40-12.70
Rápida	5.0-10	12.70-25.40
Muy rápida	Más de 10	más de 25.40

Fuente:laboratorio UNI-RUPAP

De acuerdo a la clasificación de los suelos con relación a sus posibilidades de infiltración según el Instituto de hidrometría(1975), el suelo del estudio con clasificación Franco, tiene una velocidad de infiltración que no es muy alta ni muy baja(moderada) y se caracteriza por estar formada por una mezcla de arena, limo y arcilla.

Tabla N° 12: Clasificación de los suelos de acuerdo a sus posibilidades de infiltración

Clasificación	Características
Ligero	Suelos con alta velocidad de infiltración que tienen partículas de tamaño mayor de 0.05mm.
Medios	Suelos con una velocidad de Infiltración que no es muy alta ni muy baja (intermedia). Se caracterizan por estar formado por una mezcla de arena, limo y arcilla.
Pesados	Son los que tienen velocidad de infiltración baja formados fundamentalmente por partículas finas menores de 0.02 mm.

Fuente: Instituto de Hidrometría, 1975.

7.4 Caudales de riego disponible y caudal de la faja

a. Caudal de la bomba usando el método volumétrico

Para medir el caudal disponible se utilizó el método volumétrico y el método de la escuadra con el fin de comparar resultados. En tabla N° 13 se muestra la medición del caudal por el método volumétrico:

Tabla 13: Medición del caudal por el método volumétrico

Nº	TIEMPO (seg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (litros)	CAUDAL (Lps)
1	5.6	18.9	3.38
2	6.12	18.9	3.09
3	5.77	18.9	3.28
4	5.81	18.9	3.25
5	5.97	18.9	3.17
6	5.93	18.9	3.19
7	5.63	18.9	3.36
8	5.5	18.9	3.44
9	5.72	18.9	3.30
10	5.63	18.9	3.36
Promedio	5.77	18.90	3.28

Fuente: Propia

El resultado de las mediciones de caudal aplicando la ecuación N° 49 es de 3.28 Lps por el método volumétrico.

b. Caudal de la bomba usando el método de la escuadra

El resultado del aforo del caudal por éste método fué de **3.6 lps**, con el que se obtuvo un valor promedio del caudal de bomba de **3.44 lps**.

7.5 Cálculo del caudal en la cabecera de la faja usando el método del vertedero rectangular

Como resultado del método utilizado se obtuvo un caudal de 0.0028 m³/sg ≈ 2.8 Lps, equivaliendo a más del 80% del caudal bombeado. Siendo éste un caudal alto para las dimensiones de la parcela.

7.6 Tiempos de aplicación, tiempo de oportunidad de infiltración, tiempo de avance y tiempo de retirada

Tabla N° 14: Promedio de tiempo de avance y tiempo de retirada

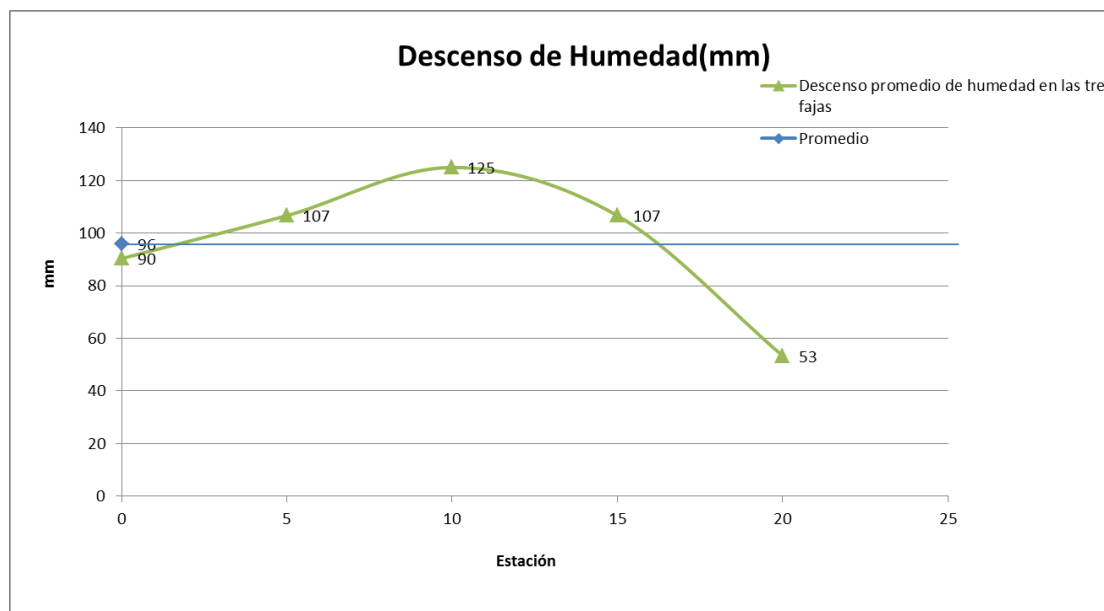
Estación (m)	T avance (min)	T retirada (min)
0	0	11
5	1	16
10	4	21
15	7	27
20	11	34

Fuente: Propia

El tiempo de avance es el tiempo que se mide desde que el caudal entra a la melga hasta que llega al final de esta. El tiempo de retirada o tiempo de oportunidad de infiltración es el tiempo que tarda la lámina en desaparecer de la superficie de suelo. En la tabla N° 14 se muestran los datos de tiempo de avance y tiempo de retirada de la faja en minutos.

El tiempo de avance para que el agua recorra la faja es de 11 minutos y el tiempo que la lámina de agua desaparece de la superficie de suelo o tiempo de oportunidad de infiltración es de 34 minutos.

Grafico N°3: Descenso promedio de humedad en las tres fajas evaluadas

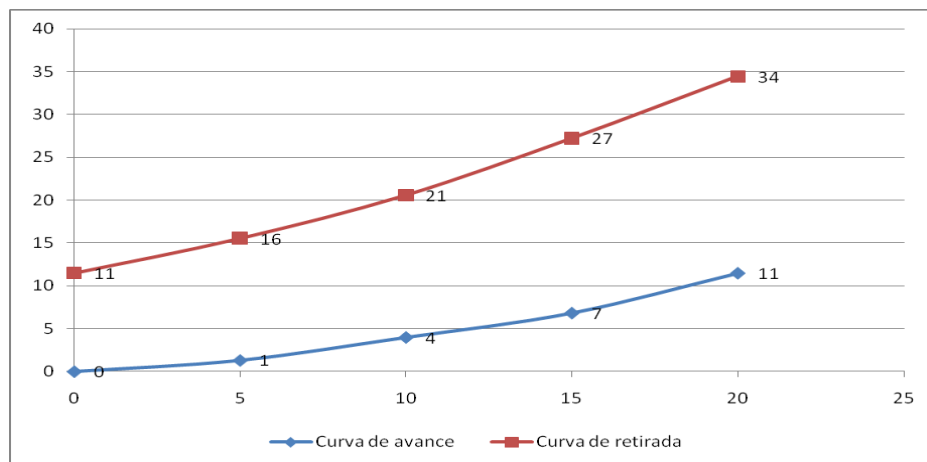


Fuente: Propia

En el gráfico N° 3, se refleja el descenso promedio de humedad en cada estación de las tres fajas evaluadas, donde se determina la cantidad de agua aprovechada por la planta a lo largo de la faja. En la estación 0, se observa que el descenso de humedad fue de 90 mm, en la estación 5, se observa que fue de 107mm, en la estación 10, de 125mm, en la estación 15, 107mm, y en la estación 20, 53mm, y el valor promedio de éstas láminas de agua infiltrada en todas las estaciones muestreadas al momento del riego, fue de 96 mm.

7.7 Curvas de avance y retirada

Gráfico N° 4: Curva de retirada y tiempo de aplicación en curva de avance

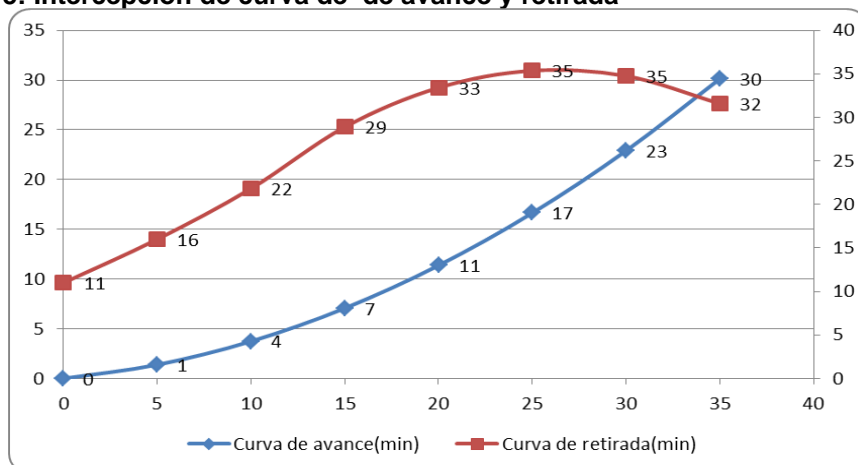


Fuente: Propia

En el gráfico N°4 se observa las curvas de avance y retirada. El tiempo de aplicación es el tiempo que se produce al cortar la entrada del caudal a la faja cuando el caudal ha llegado a recorrer el 95 % de la longitud de la faja. El tiempo de aplicación de la lámina de agua es de 10.3 min, tiempo en el cual recorrió el 95 % de la longitud, equivalente a 18.8 mts.

Como la longitud de la faja es igual al largo de la parcela no se pudo determinar la escorrentía, por ésta razón, se usó el método de extrapolación para estimar la escorrentía en las fajas evaluadas. En la gráfica N°5 se muestra la curva de avance y retirada tomando en cuenta la escorrentía, la cual, termina en el momento en que ambas curvas se interceptan, en este caso se muestra una intercepción o el final de la escorrentía a 34.5 metros.

Grafico N° 5: Intercepción de curva de de avance y retirada



Fuente: propia

7.8 Lámina media infiltrada (según la curva típica)

TablaN°15: Lámina media infiltrada según curva típica

ESTACIÓN	0	5	10	15	20	25	30
LAMINA INF MEDIA/5		133.07	146.17	155.76	164.78	161.13	141.43

Fuente: propia

Para determinar la lámina media infiltrada según la curva típica en cada estación, tomamos la ecuación de la Infiltración acumulada y evaluamos el tiempo T_0 :

$$I_{acum} = 4.3164 * t^{0.4401}$$

En la tabla N°15 se muestran los valores de la lámina media infiltrada en cada estación donde a cinco metros se infiltraron 133.07 mm, a diez metros se infiltraron 146.17 mm, a 15 metros se infiltraron 155.76 mm, a 20 metros se infiltraron 164.78 mm, a 25 metros se infiltraron 161.13 mm y a 30 metros se infiltraron 141.43 mm obteniendo la lámina media infiltrada denominada(a) que es igual a 150.39 mm.

Este valor indica la capacidad maxima del suelo para infiltrar según la ecuacion de infiltracion.(ver anexo VI).

7.9 Lámina media real de agua aplicada en mm

Con los datos de campo se determinó la láminamedia real deagua aplicada denominada (a_1) dando como resultado el valor de 137.33 mm. Siendo ésta lámina la que se aplicó en campo real. (Ver anexo VI)

7.10 Lámina media infiltrada (Según la curva ajustada)

Para determinar la lámina media infiltrada ajustada se determinó el factor de ajuste que es la relación entre la lámina media infiltrada según la curva típica y la lámina de agua real aplicada, obteniendo el valor de 0.9132 y una ecuación de infiltración acumulada ajustada, la cual determinó la lámina que se aplicó en el área de evaluación:

$$I_{acumajustada} = 3.94167 * t^{0.4401}$$

Tabla N°16: Lámina media Infiltrada según la curva ajustada

ESTACIÓN	0	5	10	15	20	25	30
LAMINA INF MEDIA/5		121.58	133.55	142.32	150.57	147.23	129.22

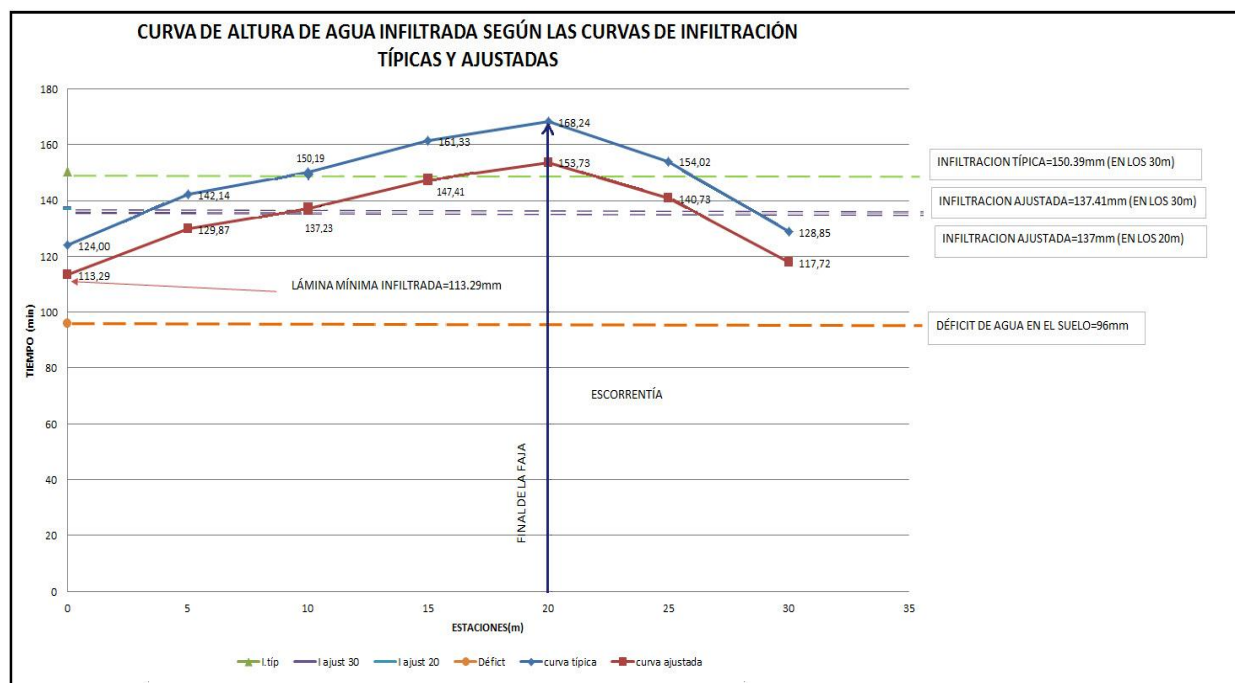
Fuente: propia

En la tabla N°16 se observa los datos promedios de cada estación, de la lámina media infiltrada según la curva ajustada. Aquí determinamos que el valor de infiltración a 5 metros fue de 121.58 mm, a diez metros se infiltraron 133.55 mm, a 15 metros se infiltraron 142.32 mm, a 20 metros se infiltraron 150.57 mm, a 25 metros se infiltraron 147.23 mm y a 30 metros se infiltraron 129.22 mm, pero lo que es el final de la faja que es a los 20 metros fue de 150.57 mm, obteniendo el valor promedio de la infiltración

denominado (a_2) es de 137.41mm. Indicando que ésta fue la lámina que se quedó en dicho suelo.

Comparando la lámina media infiltrada según la curva ajustada con 137.41 mm con la profundidad media real de agua aplicada que es 137.33 mm, muestra que la línea ajustada es correcta ya que coincide con la cantidad de agua aplicada.

Gráfico N° 6: Curva de lámina de agua infiltrada, según las curvas típicas y ajustadas



Fuente: Propia

El gráfico N°6 muestra los valores de las láminas infiltradas en cada estación según los valores de la ecuación típica y la ecuación ajustada, tanto al final de las fajas evaluada como los valores de escorrentía.

Este gráfico indica, que la lámina promedio infiltrada según la curva típica en los 30 mts fue de 150.39 mm la lámina promedio infiltrada ajustada en los mismos 30 mts fue de 137.41mm, y la lámina promedio infiltrada ajustada a los 20 mts que fue de 137 mm.

También muestra que la mínima lámina infiltrada fué de 113.29 mm y el descenso de humedad en el suelo al momento del riego fué de 96 mm, que representa el déficit de humedad por ser menor que la lámina mínima media infiltrada.

El gráfico muestra, a partir de la estación 5, los valores de la escorrentía a 25 metros según la curva típica es de 154.02 mm, y a 30 metros de 128.85 mm, y según la curva ajustada a 25 metros de 140.73 mm, y a 30 metros de 117.72 mm.

7.11 Determinación de la eficiencia de aplicación, eficiencia de riego y eficiencia de distribución

7.11.1 Eficiencia de distribución(E_d)

Para el cálculo de la eficiencia de distribución se tomó en cuenta la longitud real de la faja sin la parte extrapolada, es decir, sin tomar la escorrentía. Calculamos la lámina media infiltrada a los 20 metros denominándola (a_3). El valor de lámina media infiltrada al final de la faja es 137 mm. La eficiencia de distribución del sistema es de 82, 69 %. (ver anexo VI)

7.11.2 Eficiencia del sistema (E_i)

Para el cálculo de la eficiencia del sistema se toma en cuenta la longitud real de la faja y la parte interpolada es la escorrentía. Se calcula la lámina media total aplicada (a_4). El valor de la lámina total aplicada es 206.117 mm. La eficiencia del sistema (E_i) es 55%. (Ver anexo VI)

7.11.3 Eficiencia de Aplicación (Ea)

Para el cálculo de la eficiencia de aplicación (Ea), se toma en cuenta la cantidad de agua retenida en la zona radicular y la altura media aplicada. En este caso la lámina retenida por las raíces es de 96 mm. Teniendo como resultado la eficiencia de aplicación de 46,77 %.(Ver anexo VI)

En tabla N° 17 se presentan los resultados las eficiencias del sistema.

Tabla N° 17: Eficiencias del sistema

EFICIENCIAS	%
Eficiencia de distribución (Ed)	82.69 %.
Eficiencia de riego del sistema (Ei)	55 %.
Eficiencia de aplicación (Ea)	46.77%

Fuente: propia

La tabla N° 17 muestra los valores obtenidos de las eficiencias del sistema evaluado. Mostrando una eficiencia de distribución de 82.69%, una eficiencia de riego de 55% y eficiencia de aplicación de 46.77%. Comparando éstos valores con la tabla de calificación de las eficiencias de aplicación, riego y distribución para métodos de riego por superficie mostrados en la tabla N° 18, la eficiencia de distribución se encuentra en el rango mayor a 75, considerado como Bueno, la eficiencia de riego se encuentra en el rango menor a 60, considerado como malo, la eficiencia de aplicación se encuentra en el rango menor a 60, considerado como malo. Un sistema de riego por gravedad se considera eficiente en aplicación, riego y distribución en el rango de 60-75%. En base a esto, el sistema evaluado, ha demostrado ser un sistema de riego deficiente.

Tabla N° 18: Calificación de las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcela para métodos de riego por superficie

Parámetro	Malo	Satisfactorio	Bueno
E.aplicación	< 60	60 - 75	> 75
E.riego	<60	60 - 70	> 70
E.distribución	< 80	80 - 90	> 90

Fuente: (Roscher, 1985)

VIII. PROPUESTA DE DISEÑO ADECUADO A LAS CONDICIONES DE LA PARCELA: AGRONÓMICO E HIDRÁULICO

Obteniendo los datos de la evaluación y de acuerdo a las condiciones de topografía, suelo, área, agua y recursos económicos proponemos un diseño de sistema de riego por goteo, para optimizar el riego en el cultivo.

8.1 DISEÑO AGRONÓMICO

Para el diseño agronómico utilizamos los siguientes datos de entrada:

Tabla N°18: Datos de entrada del diseño agronómico.

Datos de Entrada						
Zona	Managua					
ETO máxima del día en el mes de Abril:	4.94	mm/día	Suelo	Franco Arenoso		
Cultivo	CEBOLLA	Superficie	103.96	m²	Splanta	0.1
Marco de plantación	0,1x0,2	Superficie real del marco	0.02	m²		
Superficie de calculo	0.02	m²				
Salinidad del Agua(CE):	0.375	mmhos/cm		mmhos/cm		
Salinidad del suelo(CS)	0.044	mmhos/cm	Jornada	1	horas	

Fuente: Propia

Para el cálculo de las necesidades diaria, se cálculo los coeficientes de riego la tabla N°19 se presentan dicho coeficientes.

Tabla N°19: Coeficientes de riego

Kc	Ks	Ka	Keu
0.97	0.7	1.2	1.2

Fuente: propia

El valor del coeficiente de cultivo Kc obtenido a través del cropwates igual a 0.97, el coeficiente de sombreado es igual a 0.7 por ser el marco de plantación menor a cinco, el coeficiente de la zona (ka) es igual a 1.20 por ser la zona evaluada de clima cálido y el factor que engloba el factor de eficiencia y uniformidad es de 1.2 por ser la conductividad eléctrica (CE) menor a uno, ya que el valor obtenido de la CE del análisis de agua de riego empleada en la zona evaluada fué de 0.375 mmhos/cm. Este valor obtenido indica que dicha agua puede ser usada en suelos cuyo cultivo presente moderada tolerancia a las sales, como es en nuestro caso, la cebolla. (Véase anexo III)

Tabla N°20: Datos resumen del diseño agronómico

ND (l/día/planta)	Tr(hora)	Nsectores	N° plantas	Nplantas regadas simult	Qbomba (lps)	Qn (l/s-ha)
0.1	1	1	4290	4290	0.36	41.5

Fuente: propia

En la Tabla N° 20 se presenta los resultados del diseño agronómico, donde el valor de las necesidades diarias de las plantas es de 0.1 l/día/planta, el tiempo de riego es de 1 hora regando un sector con 4290 plantas, con un caudal de bombeo de 0.36 lps, que corresponde a 41.5 l/s-ha.

8.2 DISEÑO HIDRÁULICO

8.2.1 Diseño de la tubería lateral

Tabla N°21:Diseño de tubería lateral

Q(lph)	Longitud ficticia (m)	PCAL (ha) (mca)	F	Diámetro Teórico (mm)	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	H (mca)	Po (mca)
34.320	20.02	1.05	0.39	4.84	16	13.9	0.007	10

Fuente:Propia.

El diseño de tubería lateral consta de un caudal de 34.320 l/h, con una longitud ficticia de 20.02 mt., la pérdida de carga admisible será de 1.05 mca. Usando un factor de Christiansen de 0.39, se encuentra un diámetro teórico de tubería de 4.84 mm. Al comparar con los diámetros comerciales elegimos un diámetro nominal comercial de 16 mm con un diámetro interno de 13.9 mm. Se calcula las pérdidas reales de la tubería que son 0.007 mca. Comparando con las pérdidas permisibles son menores, por lo tanto, utilizaremos diámetro de tubería de 16 mm. La pérdida de carga real de la tubería lateral es de 10 mca.

8.2.2 Diseño de la tubería Secundaria

En la tabla N°22 y N°23, se presentan los datos de diseño de la tubería secundaria.

Tabla N°22:Diseño tubería secundaria

Nº SECTORES	Distancia entre portagotos (m)	Longitud de lateral (m)	Qlateral (l/h)	Qlateral (m³/h)	Longitud Tuberíasec (m)	Nº líneas
1	0.25	14.3	34.3200	0.0343	6.90	12

Fuente:Propia.

El diseño de tubería secundaria consta de 1 sector, con una distancia entre portagoteros de 0.25 mt, la longitud del lateral de 14.3mt. El caudal es de 34.32 l/h, que equivalen a 0.0343 m³/hr, la longitud de la tubería secundaria será de 6.90 mts.

Tabla N°23: Diseño tubería secundaria

Q de la secundaria (l/h)	h _a (mca)	Longitud Ficticia(m)	Factor F	Diámetro teórico (mm)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	h _f (mca)	P _o (mca)
411.84	1.81	8	0.406	8.91	25	22.6	0.02	10.02

Fuente:Propia.

El diseño de tubería secundaria consta de un caudal de 411.84 l/h, con una longitud ficticia de 8 mt. La pérdida de carga admisible será de 1.81 mca. Usando un factor de Christiansen de 0.406, se encuentra un diámetro de teórico de tubería de 8.91mm. Al comparar con los diámetros comerciales se eligió un diámetro nominal de 25 mm con diámetro interno de 22.6mm. Calculando las pérdidas de carga real de la tubería que son 0.02 mca. Comparando con las pérdidas permisibles son menores; por lo tanto, utilizaremos diámetro de tubería de 25 mm. La presión necesaria en el origen de la secundaria de 10.02 mca.

8.2.3 Diseño de la tubería Principal

8.2.3.1 Cálculo del caudal de la válvula del sector

Tabla N°24: Válvula del sector

SECTOR	VÁLVULA	TUBERÍA SECUNDARIA	Q(l/h)
SECTOR 1	VÁLVULA 1	TS	411.84

Fuente:Propia.

La tabla N°24 indica que la válvula del sector 1, ubicada en la tubería secundaria está diseñada para un caudal de 411.84 l/h.

8.2.3.2. Longitud de los tramos

Tabla N°25: Longitud de los tramos

NODOS		TRAMO	LONG(m)
TOMA	N1	TP-1	48.28
N1	V1	TP-2	14.42

Fuente: Propia.

La tabla N°25 indica que la tubería de la toma al nodo N1, en el tramo TP-1, tiene una longitud de 48.28m, y la longitud del tramo TP-2, desde el nodo N1 a la válvula V1 es de 14.42m.

8.2.3.3. Caudal en la tubería Principal

Tabla N°26: Caudal en la tubería principal

DESDE	HASTA	TRAMO	Q(m ³ /seg)	Q(l/h)
TOMA	N1	TP-1	0.0001	412
N1	V1	TP-2	0.0001	412

Fuente: Propia.

La tabla N°26 muestra que el caudal del tramo TP-1, de la toma al nodo N1, es de 412 l/h, que equivale a 0.0001m³/sg, y que el caudal del tramo TP-2, desde el nodo N1 a la válvula V1 es igual al caudal en el tramo TP-1.

8.2.3.4 Pérdida de carga en la tubería principal

Tabla N°27: Pérdida de carga en la tubería principal

Long (m)	Lf(m)	vmaxper(m/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro nominal(mm)	h(mca)
48.28	57.936	1	12.07	22.60	25	0.40
14.42	17.304	1	12.07	22.60	25	0.12

Fuente:Propia.

La tabla N° 27, muestra que el diseño de tubería principal, en el tramo TP-1 de longitud de 48.28m, tiene una longitud ficticia de 57.936mt, la velocidad máxima permisible será de 1m/sg.El diametro de tubería teórico será de 12.07mm, al comparar con los diámetros comerciales elegimos un diametro nominal comercial de 25 mm con un diametro interno de 22.60 mm. La perdida de carga real de la tuberia principal es de 0.40 mca.

El tramo TP-2 de longitud de 14.42m, tiene una longitud ficticia de 17.304mt, la velocidad máxima permisible será de 1m/sg.El diametro de tubería teórico será de 12.07mm, al comparar con los diámetros comerciales elegimos un diametro nominal comercial de 25 mm con un diametro interno de 22.60 mm. La perdida de carga real de la tuberia lateral es de 0.12 mca.

8.2.3.5 Presión necesaria en el origen de la tubería principal

Tabla N°28: Presión necesaria en el origen de la tubería principal

DESDE	HASTA	P(mca)
TOMA	V1	13.54

Fuente:Propia.

La tabla N° 28 muestra que la presión necesaria en la tubería principal desde la toma hasta la valvula V1, es de 13.54m.c.a.

8.2.3.6 Pérdida de carga en el punto más desfavorable del sistema

Tabla N°29: Pérdida de carga en el punto mas desfavorable del sistema

DESDE	HASTA	P C(m)	DESNIVEL*	PCTP(m)
TOMA	V1	0.5	1	1.5

Fuente: Propia.

La tabla N° 29 muestra que la pérdida de carga en el punto mas desfavorable, sumas las perdidas de carga en los tramos TP-1 y TP-2, siendo de 0.5m, donde se presenta un desnivel de 1mt, dando como resultado una pérdida de carga total de 1.5 mt, en todo el sistema.

8.2.4. Requerimiento de trabajo altura manométrica total y potencia de la bomba

Tabla N° 30: Características del sistema de bombeo

Caudal(Q)	412	l/h	0.11	l/seg
CALCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL				
P.de C. tubería y/o portagoteros			0.01	m
P.de C. tubería secundaria			0.02	m
P.de C. tubería Principal			0.5	m
P.de C. accesorios tubería			0.1	m
P.de C. válvula			2	m
P.de C. cabezal de goteo o est. De filtrado			10	m
P.de C. accesorios de aspiración e impulsión			5	m
Nivel Dinámico del agua			6	m
Desnivel geométrico			1	m
Presión de trabajo del gotero			10.33	m
P. de C. en equipo de fertirrigacion			0	m
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			35.0	m
POTENCIA DE LA BOMBA			0.0712	H/P

Fuente: propia

La tabla N° 30 muestra los valores de la altura manométrica total, donde la pérdida de carga en la tubería y/o portagotos es de 0.01m, la pérdida de carga en la tubería secundaria es de 0.02m, la pérdida de carga en la tubería principal es de 0.5m, la pérdida de carga en los accesorios de tubería es de 0.01m, la pérdida de carga en la válvula es de 2m, la pérdida de carga en el cabezal de goteo o estructura de filtrado es de 10m, la pérdida de carga en los accesorios de aspiración e impulsión es de 5m, el nivel dinámico del agua es de 6m, el desnivel geométrico es de 1m, la presión de trabajo del gotero es de 10.33m La altura manométrica total de 35 mca y un caudal de 412 lph utilizaremos una bomba de 0.0712 HP.

IX. CONCLUSIONES

La evaluación llevada a cabo al sistema de riego superficial utilizado en el cultivo de la cebolla, ha determinado que:

1. Dadas las características hidrofísicas encontradas durante el análisis de laboratorio para este tipo de suelo, se determino que es un suelo Franco Arenoso Arcilloso, el cual brinda condiciones favorables para el sistema de riego empleado y por ende favorable para las necesidades hídricas del cultivo. De igual manera, el agua de riego analizada, indica que es un agua baja en sodio, y que puede ser usada para irrigación en casi todos los suelos, sin alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiables, presentando un nivel de salinidad media, que puede ser utilizada con lavado moderado.
2. Los resultados proyectados por la curva de velocidad de infiltración, obtenidos a partir del método de los anillos infiltrometros en el área evaluada, muestran una infiltración básica de 4.38 cm/hr, la cual indica que el suelo tiene una velocidad de infiltración moderada, lo que permite que el suelo absorba las cantidades de agua necesarias sin tener pérdidas considerables por infiltración.
3. Los caudales empleados en el sistema de riego evaluado, eran excesivos y las fajas eran cortas, ésta situación no permitió que los tiempos de aplicación, de oportunidad y de avance fueran los necesarios para lograr la infiltración de la lámina de agua adecuada para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas, indicándose esto como falta de riego en la faja.

4. La eficiencia de aplicación del agua en la superficie (E_a), fue de 46.77%. La eficiencia de riego (E_r), fue de 55%. La eficiencia de distribución fue de 82.69%.clasificando como un sistema de riego deficiente.
5. Considerando los resultados obtenidos durante la evaluación, se concluyo que el sistema de riego evaluado, no es el adecuado, porque las dimensiones de la parcela, afectaron significativamente la eficiencia de dicho sistema.

X. RECOMENDACIONES

Considerando el análisis anterior, hacemos las siguientes recomendaciones:

1. Recomendamos al productor implementar el diseño de sistema de riego por goteo propuesto con el nuevo sistema de bombeo que se adapta a las condiciones de funcionamiento tanto en caudal como potencia de la bomba.
2. Para conocer el impacto económico del diseño de riego por goteo, elaborar un análisis económico del mismo, el cual permitirá al productor cuantificar su inversión y analizar su rentabilidad.
3. Llevar a cabo evaluaciones periódicas en la implementación del sistema de riego por goteo propuesto, para conocer el funcionamiento adecuado de las presiones y caudales.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. http://www.enacal.com.ni/publicacion/02_02_01.html (Consulta: Mayo 2001)
2. <http://www.simas.org.ni/revistaenlace/articulo/368> (Consulta: mayo 2011)
3. INTA. Validación de Prácticas de Manejo integrado de Enfermedades foliares en el cultivo de Cebolla (*Allium cepa* L) en el Centro-Norte de Nicaragua. Primera edición. 2008.
4. www.inta.gob.ni/biblioteca/protocolos/.../avt-pro-cebolla-enf.doc (fecha de consulta)(Consulta: mayo 2011)
5. http://www.mific.gob.ni/LinkClick.aspx?fileticket=qewefKA_7lg%3D&tabid=339&language=en-US (Consulta: mayo 2011)
6. <http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr20.pdf>(Consulta: mayo 2011)
7. Valverde. J.C. Riego y drenaje. San José, Costa Rica. Pág., 111. EUNED 2007.
8. González Aéreas, H. Material de clase, Principio y método de riego, Grupo IA 41D, 2009.
9. Izabá Ruíz, R. Guía de laboratorios de principios y métodos de riego. 2008.
10. http://irrigacion.weebly.com/uploads/4/0/.../etp-mtodo_de_penmanmonteith.doc (Consulta: mayo 2011)

11. http://www.avepagro.org.ve/agrotrop/v35_1.../v353a001.html (Consulta: mayo 2011)
12. García Casillas, I. ¿Cuándo y cómo regar? Editorial Trillas, México, 2da edición 2007.
13. Valverde J.C, Riego y drenaje, San José, Costa Rica. Pág., 112-120. EUNED 2007.
14. Lujan García y GarciaVilchez, JR. Diseño de Sistemas de Riego Eficientes. Tomo 1: Sistema de Riego por Gravedad.CEDEX, Madrid, 2008.
15. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Representación del IICA en Nicaragua-Managua, Guía práctica para la exportación a EE.UU, diciembre del 2006.
16. González H, Aforo de prueba de bombeo, Material de clase, 2009.
17. Martínez Paredes D. y Méndez Muñoz J. Balance Hídrico del suelo en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharumofficinarum*) en la finca Toro Blanco perteneciente al Ingenio Monte Rosa. UNI. Nicaragua. 2008.
18. Velázquez J. Caracterización de los recursos hídricos y edáficos de la subcuenca III de la cuenca sur del lago de Managua. UNA. Noviembre, 1999.
19. <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/RIEGO%20LOCALIZADO.pdf>(Consulta Enero 2012).
20. <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2855/1/61article2.pdf>(Consulta Enero 2012).

21. <http://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html> (Consulta Enero 2012).
22. <http://books.google.com.ni/books>, ingeniería rural hidráulica, Jaime Valverde, pág. 240. (Consulta Enero 2012).
23. <http://definicion.de/potencia/>.(Consulta Enero 2012).

XII. ANEXOS